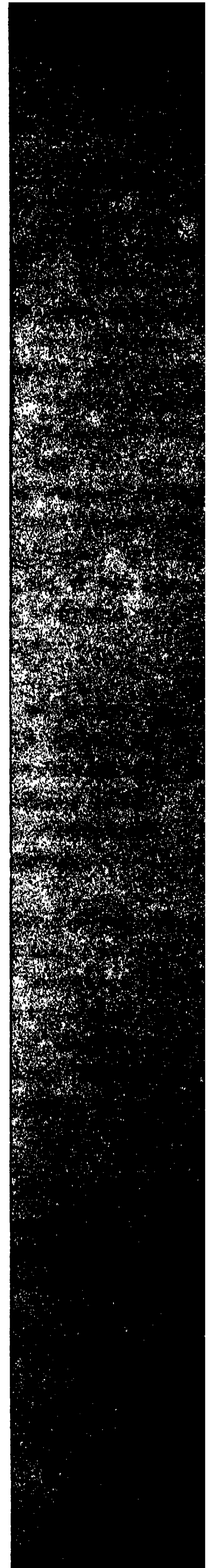
Les effets écologiques des eucalyptus

par
M.E.D. Poore
et
C. Fries



Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorites, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites

M-32
ISBN 92-5-202286-4

AVANT-PROPOS

A l'heure actuelle, les forêts du monde sont exploitées à un rythme plusieurs fois supérieur à celui auquel elles sont reconstituées. Dans les pays tropicaux, il n'est replanté en moyenne qu'un hectare pour 10 hectares de forêt défrichée. La demande de bois à usage industriel et de combustibles ligneux est considérable et augmente, notamment dans les pays tropicaux en développement dont la population est en expansion. Pour faire face à ces besoins, on opte souvent pour la plantation d'essences exotiques à croissance rapide et d'un rendement élevé en produits ligneux. Parmi ces essences se trouvent les 600 et quelques espèces du genre Eucalyptus, dont la vogue en tant qu'essences de reboisement peut être attribuée au fait qu'elles ont généralement une grande adaptabilité, une croissance rapide et un large éventail d'utilisation, depuis les sciages et autres produits ligneux transformés jusqu'au combustible de haute valeur calorifique ainsi qu'aux plantations d'ornement ou de protection de l'environnement. Pour faire ressortir la popularité des eucalyptus, il suffit d'indiquer que plus de 80 pays s'y sont intéressés, et en ont planté plus de 4 millions d'hectares à travers le monde en dehors de l'aire naturelle de ces arbres qui s'étend sur l'Australie et les îles voisines d'Océanie et du Sud-Est asiatique.

Pourtant, au milieu de cet enthousiasme, des voix de plus en plus nombreuses se sont élevées pour affirmer que les eucalyptus ont à court ou à long terme divers effets nocifs, et entraînent un appauvrissement du milieu en ce qui concerne les sols, les ressources en eau et la faune sauvage, même lorsque les plantations sont établies sur des terrains en friche dépourvus d'arbres. Certains pays ont même interdit la plantation d'eucalyptus.

C'est en raison d'une part de ces critiques de plus en plus fréquentes, et d'autre part des immenses avantages que les plantations d'eucalyptus sont susceptibles d'apporter aux pays en développement, que la FAO a décidé d'accepter l'offre faite par l'Office central suédois pour l'aide au développement international (SIDA) de réaliser cette étude, qui a pour objet d'analyser d'une manière aussi impartiale et objective que possible les informations disponibles sur les effets écologiques des eucalyptus, et de présenter les résultats de cette analyse sous une forme condensée.

La FAO remercie le Professeur D. Poore et M.C. Fries, les deux consultants qui ont effectué les recherches nécessaires et rédigé l'étude, et MM. Gutierrez de la Lama (Espagne), W. P. Lima (Brésil) et C. Malvos (France), qui ont fourni de nombreux avis de spécialistes, ainsi que le directeur, le bibliothécaire et le personnel du Commonwealth Forestry Institute d'Oxford (Grande-Bretagne) et le directeur et le personnel du Centre technique forestier tropical (France), dont l'assistance en matière de bibliographie s'est avérée précieuse.

Nous espérons que cette étude sera utile aux forestiers et aux autres responsables de l'aménagement des terres et les aidera à mieux comprendre les relations entre les eucalyptus et le milieu écologique, et à ramener à de plus justes proportions les opinions trop tranchées en faveur ou en défaveur des eucalyptus.

J.P. Lanly
Directeur de la Division
des ressources forestières
Département des forêts

TABLE DES MATIERES

Page

INTRODUCTION

Le problème

La question des plantations d'eucalyptus est de celles qui suscitent des opinions tranchées, que ce soit pour ou contre, et les arguments avancés tant par les partisans que par les adversaires des eucalyptus sont souvent fondés sur des préjugés plutôt que sur un examen objectif des faits. L'introduction d'eucalyptus a connu une grande vogue, notamment dans les régions chaudes du globe, en raison de leur rapidité de croissance et de la variété des conditions dans lesquelles peuvent pousser les différentes espèces. En revanche, ces plantations ont été vivement critiquées dans certains milieux, qui affirment qu'elles ont des effets défavorables sur le sol (appauvrissement, érosion) et sur l'hydrologie (assèchement des nappes), et qu'elles ne fournissent à la faune sauvage qu'un habitat relativement pauvre.

Ces critiques sont très variées. Certaines s'appliqueraient tout aussi bien à n'importe quelle autre essence de reboisement: par exemple que les monocultures sont plus sujettes que les forêts mélangées aux attaques de parasites et de maladies. Certains font une distinction entre eucalyptus et autres essences, et affirment qu'ils sont plus nocifs. D'autres reprochent au contraire indistinctement à toutes les essences introduites ou exotiques d'être peu appréciées des animaux indigènes, et d'introduire une note discordante dans le paysage.

A ce stade, il est sans doute opportun de faire remarquer que l'on utilise, semble-t-il, un étalon différent selon que l'on formule une appréciation sur des essences forestières ou sur un certain nombre de cultures agricoles. Nul n'est surpris que ces dernières soient souvent des espèces introduites; en fait la plupart des plantes cultivées, dans maintes régions du monde, sont d'origine étrangère (blé, maïs, riz, pomme de terre, manioc, hévéa, palmier à huile, cocotier, et bien d'autres). Nul ne s'étonne, non plus, que ces cultures épuisent le sol si elles sont pratiquées de manière continue sans apport d'engrais. Mais ces deux particularités, lorsqu'il s'agit d'essences forestières, deviennent motifs de critique. Le même genre de préjugé commence à se faire jour à propos du remplacement des pâturages indigènes par des prairies d'espèces introduites de graminées et de légumineuses, mais il est loin d'être aussi virulent que dans le cas d'essences forestières exotiques plantées pour le bois. Il est par ailleurs étrange et illogique que les arbres plantés comme cultures agricoles ou pour l'ornement semblent être à l'abri de ce genre de critique.

Il convient aussi de rappeler, lorsqu'on évalue les effets écologiques des eucalyptus, qu'ils constituent un vaste genre botanique comprenant quelque 600 espèces (le nombre exact dépend de la conception plus ou moins étroite de ce qui constitue une espèce), dont au moins une quarantaine ont été largement plantées en dehors de leur aire géographique naturelle. Si l'on considère

qu'elles sont cultivées depuis l'équateur, en passant par les zones tropicales et subtropicales, jusqu'aux climats arides, méditerranéens et tempérés chauds, depuis le niveau de la mer jusqu'à 4 000 mètres d'altitude dans les Andes, sur une très large gamme de stations et de sols, on comprendra combien il est difficile de formuler des généralisations valables.

Certaines des critiques, d'autre part, ont été suscitées par des espoirs déçus plutôt que par des effets écologiques. Les eucalyptus ont souvent été présentés comme des essences miracles, susceptibles d'apporter des solutions immédiates aux problèmes locaux de production ligneuse et d'érosion. Lorsque les plantations échouent, souvent parce qu'elles ont été faites avec une espèce mal choisie ou sur des stations mal adaptées, la population locale obtient des arbres qui, dans le meilleur des cas, ne valent guère mieux que la végétation locale qu'ils ont remplacée. On accuse alors souvent les eucalyptus plutôt que le vrai coupable, à savoir la mauvaise technique forestière.

L'une des principales raisons qui incitent à planter des eucalyptus est qu'ils poussent plus rapidement que d'autres essences sur une même station; cette croissance plus rapide est nécessairement associée à une consommation d'eau accrue. On est alors amené à se demander si c'est le bois ou l'eau qui est le plus important dans les circonstances considérées?

La présente étude a pour objet de passer en revue de manière impartiale les informations dont on dispose sur les effets écologiques des eucalyptus. On espère qu'elle sera utile à ceux qui ont à opérer des choix en matière de développement et d'utilisation des terres, aux gestionnaires de forêts et de terrains agricoles, et à toutes les personnes intéressées par la question. On espère également que, en dissipant certains des malentendus qui entourent ce sujet, elle permettra de prendre des décisions meilleures, et plus largement acceptées en matière d'utilisation des terres.

L'étude est complétée par une bibliographie annotée. Chaque référence est classée en fonction du sujet, avec indication de l'utilité du texte en question par rapport à l'objet de l'étude. On n'a pas inclus toutes les références traitant de la culture des eucalyptus, mais seulement celles qui ont un rapport avec leurs effets écologiques. D'autre part, nombre de ces textes étaient destinés à aborder d'autres problèmes, et la classification en fonction du rapport avec le sujet de l'étude ne traduit pas forcément la qualité du document.

Il faut cependant remarquer que les études qui ont fourni des données sûres et statistiquement valables dont on puisse tirer des conclusions solides étaient très peu nombreuses. Beaucoup ne traitaient que d'une partie du système, ou n'étaient pas suffisamment rigoureuses dans leur conception. Même les quelques études complètes de bassins versants ont donnée des résultats qui, de par leur nature même, ne sauraient être appliqués à d'autres bassins versants présentant des caractéristiques hydrologiques différentes ou situés sous un climat différent. En règle générale les textes les plus utiles sont ceux qui mettent en lumière les processus généraux dans les systèmes considérés. Cela a des conséquences importantes pour la planification des recherches futures dans ce domaine.

L'étude est bien entendu limitée aux sujets et aux régions pour lesquels on dispose d'informations publiées. En fait, la majorité des travaux ont été réalisés dans un petit nombre de pays, principalement l'Australie, le Brésil, quelques pays méditerranéens et l'Inde. Presque tous se rapportent à des plantations en plein; il existe peu d'ouvrages traitant des plantations linéaires, des rideaux-abris ou de l'agroforesterie. Mais, d'après les résultats de la présente étude, les principes généraux régissant les effets écologiques des arbres plantés en rideaux brise-vent ou en culture de protection devraient s'appliquer aux eucalyptus, compte tenu des particularités connues de la physiologie de l'espèce d'eucalyptus considérée.

L'approche

La présente étude traite des effets écologiques des plantations d'eucalyptus. Les effets écologiques d'une action quelconque - telle que planter des eucalyptus - ne peuvent être aisément jugés que par comparaison avec les effets d'une autre décision possible - par exemple ne rien faire, ou planter des pins. Il est par conséquent très important de replacer toute observation ou tout résultat expérimental dans son contexte entier.

L'effet que l'on pourra attendre de la conversion d'une forêt ombrophile climacique en plantation d'eucalyptus (par exemple Eucalyptus deglupta dans la forêt dense de Mindanao aux Philippines) sera totalement différent de celui d'une plantation de la même espèce d'eucalyptus sur un terrain déboisé et érodé, comme les collines crayeuses de Chypre ou certaines hautes terres du Pérou. Dans le premier cas on peut considérer qu'il y a dégradation écologique, dans le deuxième cas qu'il s'agit de restauration des sols. Mais cette simple affirmation comporte un jugement de valeur relative.

Il existe différentes situations écologiques dans lesquelles on peut être amené à planter des eucalyptus, notamment: en remplacement d'une forêt dense existante; en remplacement d'une autre végétation naturelle telle que savane, brousse ou prairie; sur des terres incultes ou dégradées pour produire du bois ou lutter contre l'érosion; sur des terres agricoles en rideaux-abris, comme éléments de systèmes agroforestiers, ou en culture intensive pour produire du bois. Il importe de bien comprendre des circonstances telles que celles-ci si l'on veut évaluer les effets de manière objective. Par exemple, on ne pourra juger de façon satisfaisante de la dégradation ou de l'amélioration du sol sous une plantation d'eucalyptus que par référence aux conditions existant avant que la plantation n'ait eu lieu.

La présente étude concerne particulièrement les effets sur les caractéristiques physiques et biologiques (effets sur le micro- et le macroclimat, sur les sols, sur l'eau, sur les populations d'animaux et de plantes sauvages); elle porte également sur les effets de substitution tels que diminution de la superficie d'écosystèmes qui sont remplacés par des eucalyptus. Elle ne traite pas d'une manière détaillée des effets sociaux et économiques, bien que ceux-ci soient abordés au Chapitre V.

Toutefois, cette distinction est en grande partie artificielle. La plupart des effets écologiques ne peuvent être évalués que par rapport aux besoins de la société; par exemple, est-ce le bois ou l'eau qui est le plus important pour une localité donnée, ou le bois plutôt que le pâturage? Une forte consommation d'eau est une caractéristique intéressante si le but de la plantation est d'assécher un marais, mais la plantation d'eucalyptus est à déconseiller, et peut à juste titre être critiquée, si elle abaisse le niveau phréatique dans une zone où l'eau est rare, ou pourrait être utilisée pour irriguer des cultures de rentabilité élevée.

Si l'on admet que l'importance des effets écologiques tient en dernière analyse à leurs conséquences sociales, on en vient rapidement à reconnaître que la plantation d'eucalyptus ne peut être judicieusement évaluée qu'en prenant en compte tous les coûts et avantages, y compris les effets écologiques.

Il faut toutefois faire une distinction entre les effets écologiques qui sont réversibles et ceux qui ne peuvent être corrigés qu'à grands frais, ou même ne peuvent pas l'être du tout. Si un peuplement épuise les éléments nutritifs du sol, ceux-ci peuvent être remplacés par un apport d'engrais; c'est un problème économique. En revanche, la perte de sol par érosion en nappe ou ravinante est irréversible, et doit être traitée plus sérieusement.

Nombre des expérimentations décrites ci-dessous ont été menées avec un objectif précis ou limité; on doit donc observer la plus grande prudence pour appliquer leurs résultats à d'autres situations. Ainsi, les conclusions sur les effets hydrologiques d'une expérimentation dans une région aride risquent d'avoir peu de valeur dans une zone de forte pluviométrie.

De même, bon nombre de résultats ne concernent qu'une partie déterminée d'un processus écologique plus vaste. Ils peuvent, par exemple, porter sur l'effet du feuillage d'un arbre dans l'interception de la pluie, donnée qui n'a de signification que si on la replace dans l'ensemble du cycle de l'eau.

Dans chacune des sections qui suivent, nous commencerons donc par expliquer en termes simples les processus qui y sont décrits, de façon que ceux-ci puissent être considérés dans leur contexte et que le lecteur puisse juger lui-même de l'importance des résultats.

Le corps de l'étude qui traite des effets écologiques est divisé en quatre chapitres: le premier concerne les eucalyptus et l'eau, le second l'érosion, le troisième la fertilité du sol, et le quatrième l'interaction entre eucalyptus et autres organismes vivants, c'est-à-dire les effets que peuvent avoir les eucalyptus en concurrençant ou en remplaçant ces derniers. Ces chapitres sont suivis d'une brève étude sur certaines des conséquences socio-économiques des plantations d'eucalyptus et par un dernier chapitre récapitulant les principales conclusions formulées.

CHAPITRE I

INFLUENCE SUR LE CYCLE DE L'EAU

Introduction

Les principales critiques lancées à cet égard à l'encontre des plantations d'eucalyptus sont d'épuiser les ressources en eau et, dans les bassins versants en pente, de ne pas régulariser le débit de l'eau aussi bien que la végétation naturelle qu'elles remplacent parfois. Certaines de ces critiques s'appliqueraient aussi bien aux plantations en bandes et aux arbres isolés ou disséminés.

Nous examinerons dans cette section les données qui confirment ou démentent ces points de vue. Au préalable, cependant, il est nécessaire de décrire certaines des caractéristiques principales de la circulation de l'eau entre l'atmosphère, la forêt (ou l'arbre) et le sol.

Le cycle de l'eau

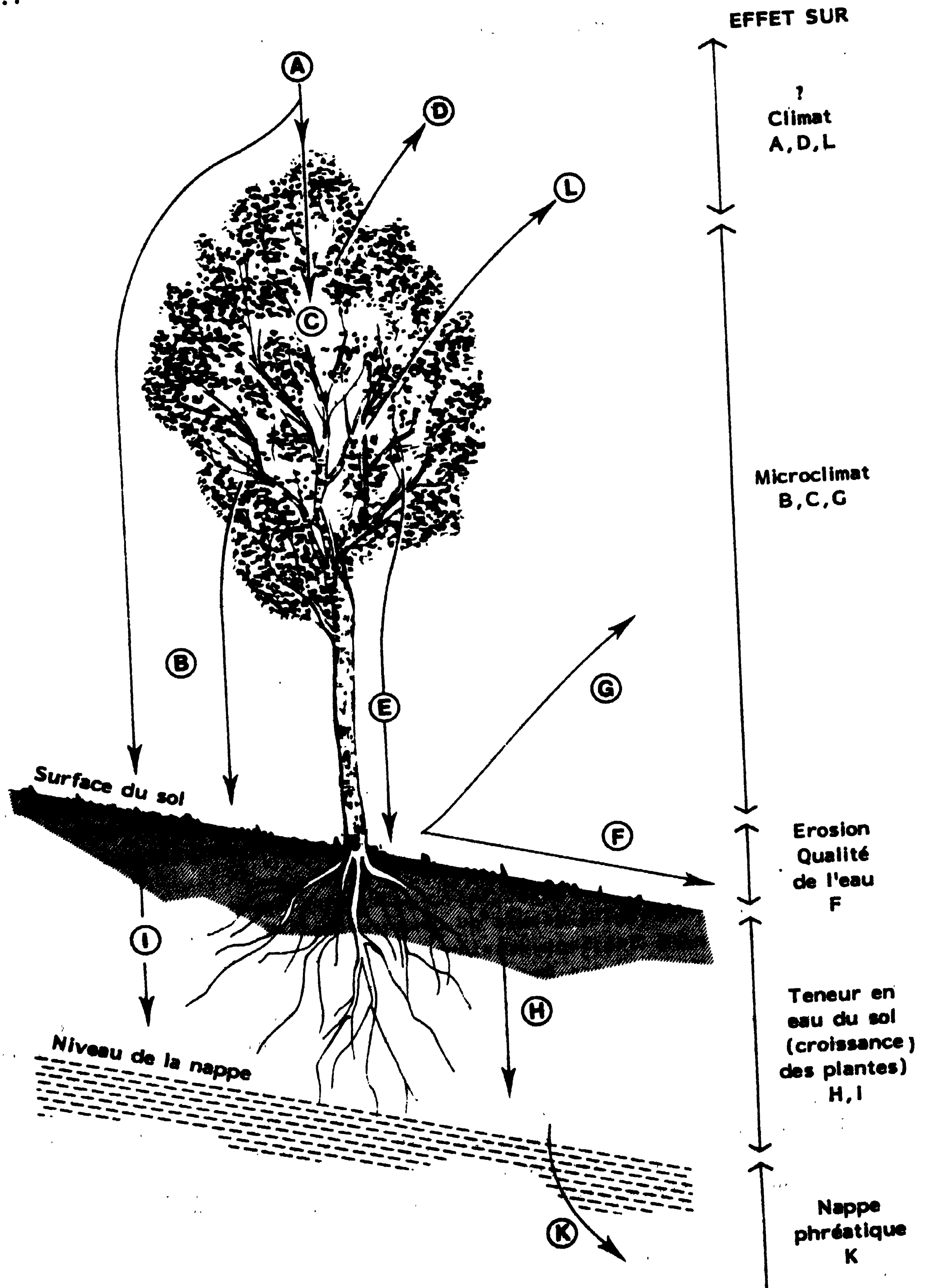
Les relations entre plantes, sol et eau sont complexes, mais il est nécessaire d'en avoir une certaine connaissance pour apprécier les effets potentiels des eucalyptus (ou de tous autres arbres) sur l'hydrologie locale (voir fig. 1).

Lorsqu'une quantité (A) d'eau de pluie tombe sur une surface couverte d'arbres, une partie (B) atteint le sol directement ou par égouttement à travers le feuillage, tandis qu'une autre partie (C) est interceptée par les cimes des arbres. Sur cette dernière quantité, une certaine partie (D) s'évapore et est perdue pour la station considérée, et le reste (E) atteint le sol en s'écoulant le long du tronc ("écoulement sur écorce" ou "ruissellement sur les troncs").

La densité des arbres, la nature du couvert feuillé et les caractères du tronc et de l'écorce sont des facteurs importants pour déterminer ces diverses quantités. Il en est de même des facteurs climatiques tels qu'intensité des précipitations, température, régime des vents (qui augmente D) et brouillard (qui augmente C) et ensuite l'égouttement à travers le feuillage et l'écoulement sur écorce.

Une fois que l'eau de pluie atteint le sol, une partie (F) peut s'écouler sur la surface du sol ("écoulement superficiel" ou "ruissellement"); c'est la principale cause d'érosion du sol par l'eau. Une autre partie (G) peut s'évaporer directement dans l'atmosphère, tandis que le reste pénètre dans le sol.

Fig. 1


EFFET SUR
?
Climat
A, D, L
Microclimat
B, C, G
Erosion
Qualité
de l'eau
F
Teneur en
eau du sol
(croissance)
des plantes)
H, I
Nappe
phréatique
K
A
D
L
C
B
E
G
F
I
H
K
Surface du sol
Niveau de la nappe

L'importance de l'écoulement superficiel (F) et la façon dont cette eau se comporte à la surface du sol dépendent d'un certain nombre de facteurs: l'intensité de la pluie (plus elle est concentrée, plus l'écoulement superficiel est important); la pente et la régularité du terrain; la présence ou l'absence d'une couche protectrice, feuilles ou gravier par exemple, qui brise la force vive des gouttes de pluie ou ralentit le mouvement de l'eau sur la pente; la nature de la surface du sol, et en particulier la facilité et la rapidité avec lesquelles elle permet l'infiltration de l'eau (H).

Dans les meilleures conditions, toute l'eau s'infiltre; il n'y a pas d'écoulement superficiel. Dans des conditions moins favorables, l'eau ruisselle en surface vers les cours d'eau, dont elle accroît les débits de pointe. Cette eau peut entraîner de la terre (érosion en nappe) ou, si elle est canalisée (par exemple par les arbres, par des touffes de graminées ou par des rochers), elle peut creuser des ravines et causer des pertes de sol encore plus grandes. L'eau qui ruisselle de cette manière est perdue pour les plantes qui se trouvent sur la pente et, du fait qu'elle ne s'infiltre pas dans le sol, elle ne contribue pas au "débit de base" (débit régulier et stable) des cours d'eau qui drainent la zone.

D'autre part le mouvement de l'eau, une fois qu'elle a pénétré dans le sol, est fortement influencé par le climat. Dans les climats secs ou en saison sèche (lorsque l'évapotranspiration potentielle est supérieure aux précipitations), il y a un mouvement net de l'eau vers le haut; dans les climats humides ou en saison des pluies, ce mouvement net se fait vers le bas.

Il y a très peu de mouvement ascendant de l'eau dans les graviers et les sables, tandis que dans les sols à texture fine l'eau monte par capillarité. C'est pourquoi, dans les climats arides où le mouvement net de l'eau est ascendant, les sols argileux se dessèchent davantage, et sont donc effectivement plus secs que les sables, tandis que dans les climats humides où le mouvement net de l'eau est descendant, c'est l'inverse qui se produit.

Lorsqu'il pénètre suffisamment d'eau dans le sol, celui-ci peut en retenir une certaine quantité (I) contre la force de gravité; c'est ce qu'on appelle la "capacité de rétention au champ". Toute eau en surplus (K) descend par percolation jusqu'à la nappe phréatique (niveau auquel le sol est saturé en permanence), et de là vers les cours d'eau ou vers une nappe souterraine profonde. La quantité ainsi retenue dans le sol est fonction du volume de sol, de sa texture et de la matière organique qu'il contient. Par exemple, l'érosion diminue la quantité d'eau disponible pour les plantes en réduisant le volume de sol; un sol de limon retient davantage d'eau que des sables ou des graviers.

Les plantes qui ont leur système radiculaire dans ce sol peuvent utiliser la plus grande partie de l'eau à laquelle leurs racines ont accès. Elles en incorporent une petite quantité dans leurs tissus vivants et transpirent le reste (L) dans l'atmosphère. La quantité totale qu'elles utilisent est fonction du climat, de la répartition des racines et du volume de sol qu'elles occupent.

S'il y a de l'eau en abondance, l'évapotranspiration totale (évaporation par le sol plus transpiration à travers la plante) dépend dans une large mesure de la radiation atteignant le sol ou la surface de la végétation. En d'autres termes, elle est déterminée par le bilan énergétique de la station considérée plutôt que par la nature de la végétation. Elle est en gros la même pour n'importe quelle surface équivalente, qu'il s'agisse d'un lac, d'une prairie ou d'une forêt. C'est là une caractéristique du cycle de l'eau qui est souvent mal comprise.

La situation est différente si les disponibilités en eau sont faibles; la plante peut alors établir des barrières contre la perte d'eau (en perdant ses feuilles, en fermant les stomates de ses feuilles, etc.). Il peut également y avoir des barrières dans le sol. Une couche superficielle de feuilles sèches ou de gravier peut ralentir ou empêcher la perte d'eau. Dans ces circonstances l'évapotranspiration réelle peut être très inférieure à l'évapotranspiration potentielle (la quantité d'eau qui serait perdue si l'eau était abondante).

L'effet des arbres sur l'hydrologie d'un bassin versant, et le développement des arbres eux-mêmes, sont très variables selon que les arbres ont accès à une nappe souterraine permanente ou sont tributaires des réserves d'eau du sol qui ne sont renouvelées que par les précipitations locales. Dans le premier cas, les arbres ne souffriront pas du manque d'eau quelle que soit la sécheresse du climat, et ils utiliseront une quantité d'eau équivalant à leurs besoins - qui sont déterminés en gros par la radiation solaire et par le vent. Si au contraire les arbres sont tributaires de la pluviométrie et de la recharge de l'eau du sol par les pluies, la quantité d'eau dont ils disposeront sera sous l'influence du climat, et notamment des fluctuations saisonnières du rapport entre précipitations et évapotranspiration potentielle (P/E).

Lorsque les arbres perdent leurs feuilles ou ferment leurs stomates, la photosynthèse et la croissance s'arrêtent. Les arbres ne peuvent assurer leur croissance qu'en perdant de l'eau. La rapidité de la croissance est en gros proportionnelle à la quantité d'eau utilisée. Si par conséquent le but de la plantation forestière est de produire des volumes importants de bois, il faut s'attendre à ce que les arbres consomment de grandes quantités d'eau. Etant donné que l'on opte souvent pour les eucalyptus précisément parce qu'ils poussent plus vite que d'autres essences, il faut évidemment s'attendre à une consommation d'eau accrue.

Une fois que le sol est asséché jusqu'à un certain degré, appelé "point de flétrissement", les plantes ne peuvent plus en extraire d'eau. Mais, si leurs racines atteignent le niveau de la nappe, elles peuvent transpirer fortement, même si les horizons superficiels du sol sont beaucoup trop secs pour permettre une végétation active. Cela explique que l'on voie souvent des arbres et des buissons pousser dans le lit graveleux de cours d'eau temporaires dans les régions arides.

Lorsque $P > E$, il peut y avoir un reliquat d'eau une fois que les arbres ont utilisé l'eau dont ils ont besoin. Cette eau en excédent peut alors pénétrer profondément dans le sol, et recharger les cours d'eau ou les nappes souterraines.

Lorsque P < E, les arbres et autres végétaux commencent à souffrir de déficit hydrique et, en fonction de leur physiologie particulière, restreignent leur consommation d'eau et ralentissent leur croissance (et peuvent même mourir s'ils ne sont pas résistants à la sécheresse). Le nombre d'arbres présents sur une surface de terrain donnée s'adapte généralement à la quantité moyenne d'eau disponible dans le sol; des arbres qui n'ont pas accès à des eaux souterraines seront donc plus espacés dans une zone de faible pluviométrie. S'ils sont plantés trop serrés, certains dépériront. Le déficit hydrique dans le sol dépend de la répartition des racines des végétaux, de leur aptitude à réduire leurs pertes d'eau, et de la nature du sol lui-même. Ce déficit persistera jusqu'à ce que les précipitations dépassent à nouveau l'évaporation, et puissent recharger le sol.

Quatre situations possibles sont présentées à la figure 2.

1) La végétation est entièrement tributaire des pluies; la teneur en eau du sol fluctue en fonction du rapport P/E; aucune eau ne percole jusqu'à la nappe phréatique; il peut y avoir un ruissellement en surface en cas de pluies fortes et violentes; s'il y a de la végétation, elle utilise toute l'eau du sol, et sa densité et sa croissance dépendent de l'eau dont elle dispose dans le sol.

   Dans une telle situation les effets de la végétation peuvent être les suivants:

   a) empêcher la recharge en eau du sol en l'interceptant dans le feuillage;

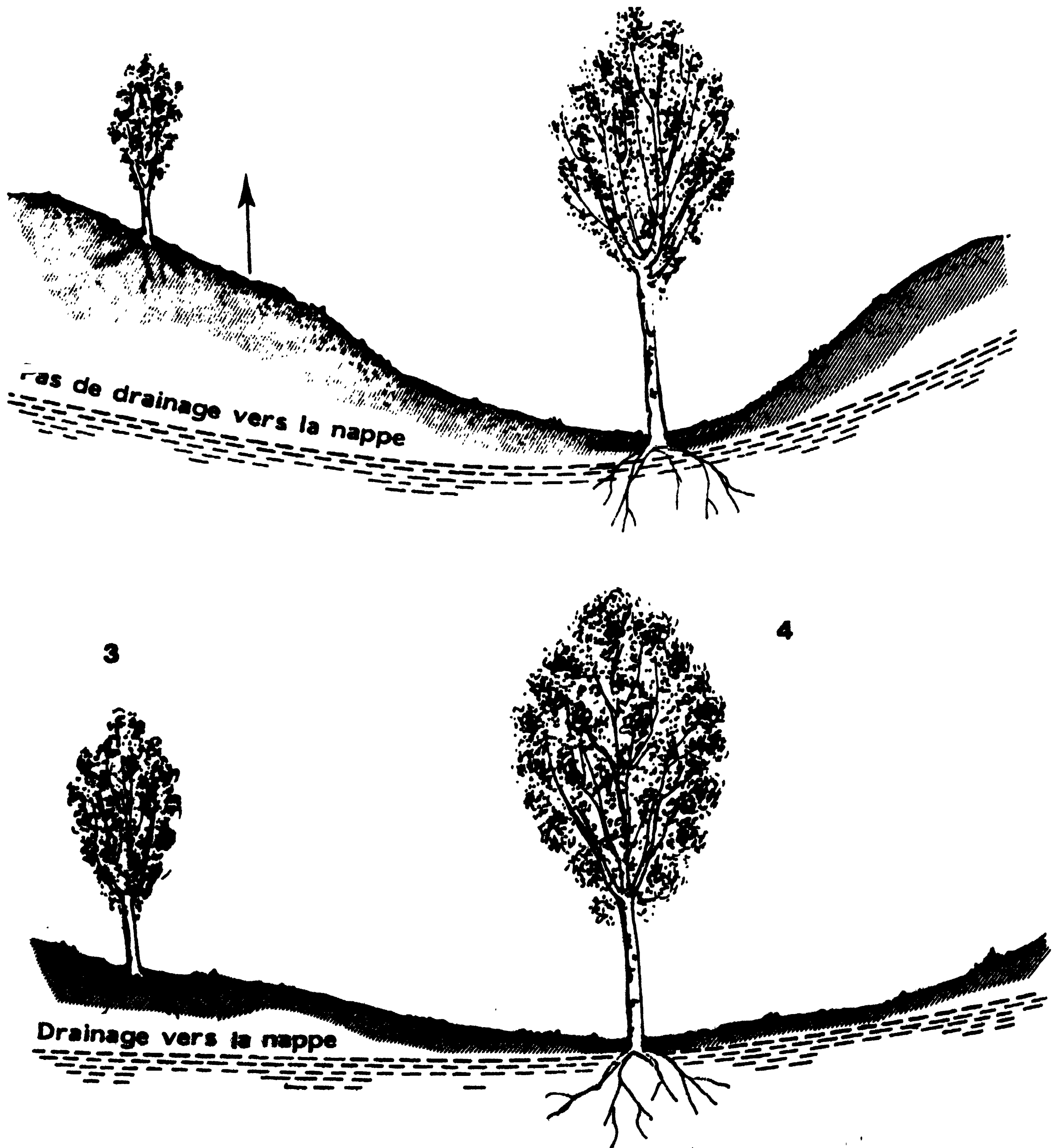
   b) dans le cas particulier de précipitations occultes dans une région sans pluies, accroître l'interception d'humidité;

   c) influer sur le ruissellement des pluies d'orage selon la manière dont les plantes elles-mêmes modifient l'infiltration par leur litière ou modifient l'écoulement de l'eau à la surface du sol.

Sauf en ce qui concerne l'effet (c), un changement du type de végétation n'entraîne aucune différence pour l'hydrologie locale (parce qu'aucune part de la précipitation n'atteint la nappe phréatique). Le type de végétation peut, en revanche, avoir un effet considérable sur l'eau disponible pour sa propre croissance. Par conséquent, les eucalyptus peuvent avoir une influence sur (a) et (b), et sur la concurrence entre eux-mêmes et les autres végétaux pour utiliser les quantités limitées d'eau disponibles dans le sol. La question importante qui se pose est celle-ci: l'influence des eucalyptus est-elle différente de celle des arbres appartenant à d'autres genres botaniques?

2) Le climat est aride, P< E; la nappe se trouve sous la surface du sol, et il y a peu ou même pas d'évaporation en l'absence de végétation; les racines des arbres ont accès à l'eau souterraine, de sorte que les arbres transpirent vigoureusement et poussent vite.

Fig. 2



Dans ces conditions, tous les arbres - en fait tous les types de végétation - ont un effet notable sur la nappe phréatique, tant sur place qu'en aval. Les eucalyptus consomment-ils plus que les autres essences dans des circonstances semblables?

3) Les conditions sont les mêmes qu'en (1), sauf que P > E et que l'eau en excès percole jusqu'à la nappe. Des types différents de végétation peuvent avoir une efficacité plus ou moins grande pour utiliser l'eau du sol, en l'empêchant ainsi d'atteindre la nappe. Un gain dans la croissance de la végétation aura pour contrepartie une perte pour la nappe. Comment les eucalyptus soutiennent-ils la comparaison à cet égard avec d'autres types de végétation?

4) Les conditions sont les mêmes qu'en (2), sauf que le niveau de la nappe fluctue près de la surface du sol, affleure ou se situe au-dessus de cette surface. Les arbres et autres végétaux, consommant de l'eau, ont un effet sur ce niveau. Comment les eucalyptus soutiennent-ils en cela la comparaison avec d'autres végétaux?

On voit que, dans toutes ces situations, les eucalyptus auront des effets sur les relations hydriques soit localement, soit en aval. Aucun de ces effets n'est en lui-même bon ou mauvais, à l'exception sans doute de l'érosion, mais leur caractère positif ou négatif dépend de l'importance relative que l'on attribue dans la localité aux disponibilités en eau, au drainage, à la lutte contre l'érosion, aux approvisionnements en bois, etc.

Effets écologiques

Les effets écologiques possibles des plantations d'eucalyptus (ou des plantations de n'importe quelle autre essence) sur le cycle de l'eau sont indiqués dans la partie droite de la figure 1. Ils peuvent porter sur: le climat local ou régional; le microclimat à l'intérieur de la forêt; l'écoulement superficiel de l'eau (pouvant influer sur la qualité de l'eau et sur l'intensité de l'érosion); la teneur en eau du sol; la recharge des nappes phréatiques. Les plantations d'eucalyptus peuvent, en principe, agir sur l'un quelconque de ces éléments en modifiant les quantités (A) à (K). Que ces changements soient considérés comme bénéfiques ou non, cela dépendra de l'objet des plantations et du bilan des divers coûts et bénéfices dans chaque cas.

Climat

L'effet du couvert forestier sur le climat est un sujet controversé, qu'il n'est pas possible de traiter en détail dans cette étude. Il n'existe aucune documentation concernant les plantations d'eucalyptus en particulier.

Si l'on parvient à établir des boisements sur des terrains chauds et secs précédemment dépourvus de végétation (par exemple une étendue sableuse dénudée avec une nappe phréatique accessible aux racines des arbres), ils modifieront la réflexion de la lumière par le sol (albedo), d'où un changement dans le bilan énergétique; ils réduiront la turbulence de l'air au voisinage du sol, et par

conséquent sa charge de poussière. Il pourra en résulter un accroissement de l'humidité atmosphérique locale, et une diminution des températures. Dans ces conditions les plantations d'eucalyptus (de même que la forêt naturelle ou les plantations de n'importe quelle autre essence) peuvent avoir un effet sur le climat local, mais on manque de preuves concluantes sur ce point.

Microclimat

Le climat dans une plantation d'eucalyptus est tempéré par comparaison avec celui d'une surface avoisinante dépourvue d'arbres; c'est un fait bien établi par les études générales sur les microclimats. L'effet des plantations d'eucalyptus est analogue à celui d'autres plantations, malgré certaines différences mineures. Par exemple, les eucalyptus projettent généralement moins d'ombre au sol que les autres essences feuillues, en raison de la position verticale que leurs feuilles ont souvent sur les rameaux. Ces effets sur le microclimat sont les suivants: accroissement de l'humidité, diminution de la radiation solaire, abaissement des températures moyennes et modération des extrêmes de température.

Interception

La végétation peut avoir un effet marqué sur la quantité d'eau qui atteint le sol en interceptant une partie de la précipitation par son feuillage. La quantité interceptée et la perte pour la station sont l'une des principales caractéristiques qui différencient les divers types de végétation. L'effet qui en résulte dépend dans une très large mesure des circonstances.

Dans des conditions de brouillard ou nuages dérivants, des quantités considérables d'eau peuvent être recueillies par le feuillage et s'égoutter sur le sol; c'est une eau qui, en l'absence de végétation, serait entraînée dans l'atmosphère et perdue pour la station. Lima et O'Loughlin (ouvrage sous presse) examinent les données provenant de forêts naturelles d'eucalyptus d'Australie. Les valeurs les plus élevées, équivalentes à une pluviométrie d'au moins 25-50 mm par an, ont été trouvées dans la forêt sclérophylle de haute montagne (Eucalyptus niphophila) sur le mont Kosciusko dans le sud-est de l'Australie, à une altitude de 1 200-1 500 m. Dans la forêt d'E. regnans près de Melbourne (670 m d'altitude, pluviométrie annuelle 1 200 mm), un peuplement âgé de 200 ans a intercepté une moyenne de 12,9 mm par an sur une période de 4 ans, et un peuplement de 80-90 ans a intercepté 9,2 mm. L'interception des brouillards (précipitations occultes) a un effet marqué sur les climats locaux, et on peut trouver des types particuliers de forêt limités aux zones où elle se produit.

Lima et O'Loughlin étudient ensuite l'interception de la pluie.

"Un effet hydrologique plus important de la présence d'un couvert forestier dans une station donnée est le processus d'interception, par lequel la pluie est redistribuée par les cimes des arbres, une partie étant perdue par évaporation directe à partir du feuillage. Considérant la diversité des espèces d'eucalyptus et le grand nombre de types de forêts différents qu'elles constituent, il n'existe pas suffisamment de données sur l'interception pour dresser un tableau d'ensemble de ce processus important pour le cycle de l'eau dans les forêts d'eucalyptus. Les données qu'ils ont rassemblées sont reproduites au Tableau 1.

On dispose de quelques données concernant la proportion de la pluie interceptée par Eucalyptus spp. par rapport à celle interceptée par d'autres essences forestières, mais elles ne sont pas suffisantes pour permettre de formuler des généralisations valables. Les données sont présentées dans le Tableau 2.

Des comparaisons directes entre les eucalyptus et d'autres essences ont été faites par Lima (1976), Smith (1974), George (1978), Dabral et Subba Rao (1968 et 1969). Ces derniers auteurs ont trouvé une quantité interceptée par les eucalyptus plus faible - 11,65 pour cent, contre 27,0 pour cent pour Pinus roxburghii, 20,8 pour cent pour Tectona grandis, 38,2 pour cent pour Shorea robusta et 28,5 pour cent pour Acacia catechu. Smith (1974), comparant un peuplement de Pinus radiata de 35 ans avec une forêt naturelle d'Eucalyptus rossii, E. maculata et E. dives, a trouvé 18,7 pour cent pour les pins, contre 10,9 pour cent pour les eucalyptus.

Par contre Lima note un pourcentage plus élevé pour les eucalyptus - 12,2 pour cent contre 6,6 pour cent pour Pinus caribaea. Ce résultat peut sans doute s'expliquer par le fait que les pins étudiés par Lima avaient une hauteur de 6 m seulement, contre 15,4 m pour Eucalyptus saligna. En se basant sur des considérations générales de morphologie et d'orientation des feuilles, on pourrait s'attendre à trouver une interception plus élevée pour les pins que pour les eucalyptus dans des conditions identiques. Karschon (1971) a observé une forte diminution de l'interception par E. camaldulensis après exploitation en taillis; elle était de 5,3 pour cent deux ans après la coupe, remontant à 7,1 pour cent au bout de 4 ans.

Dans l'interprétation de ces résultats, il ne faut pas oublier que la proportion d'eau de pluie interceptée varie fortement suivant le climat et l'intensité des précipitations. Néanmoins, il apparaît que, dans une large gamme de conditions, environ un quart de la précipitation est intercepté par les forêts d'eucalyptus et réévaporé dans l'atmosphère, et n'est par conséquent plus disponible pour recharger l'humidité du sol ou la nappe phréatique. Cette proportion tend généralement à être plus élevée pour les pins, et sans doute plus basse pour les feuillus autres que les eucalyptus. Lee, dans son ouvrage intitulé Forest Hydrology (1980), formule l'hypothèse que les différents types de végétation se classent dans l'ordre suivant du point de vue des quantités d'eau qu'ils interceptent: pins > eucalyptus > autres essences feuillues > formations buissonneuses > prairie. Il devrait être possible de prévoir les quantités d'eau interceptées par les différentes essences sur la base de la

Tableau 1

Perte par interception (I), précipitation au sol (S), écoulement sur écorce (E), emmagasinage dans les cimes (C), et équations de régression reliant l'interception, la précipitation au sol et l'écoulement sur écorce à la précipitation brute (PB) pour différentes espèces d'eucalyptus

Espèce d'eucalyptus	I(%)	S(%)	E (%)	C(mm)	Régression
E. regnans	22-26	-	2-3	-	
E. regnans (peuplement mûr)	23,2	72-76	4.3	-	I=0.176PB+1.51 S=0.775PB-1.36 E=0.05PB -0.15
E. regnans (40 ans)	18.7	72-76	5.3	-	I=0.150PB+1.09 S=0.790PB-0.88 E=0.06PB -0.21
Forêt sclérophylle sèche mélangée (A)	23.3	72-76	1.3	-	I=0.176PB+1.36 E=0.809PB-1.31 E=0.015PB-0.05
E. melanophloia	11	88	0.6	2	(S + E)=0.96PB-1.4
Forêt sclérophylle sèche mélangée (B)	10.6	89	3	-	S=0.837PB-0.057 E=0.019PB+0.00
E. signata	22	65	13	-	-
E. umbra	22	75	3	-	-
E. viminalis	-	-	-	0.2	-
E. dives	-	-	-	0.3	-
E. mannifera	-	-	-	0.3	-
E. cinerea	-	-	-	0.4	-
E. maculata	-	-	-	0.5	-
E. pauciflora	-	-	-	0.8	-

(A) E. obliqua-E. cypellocarpa-E. viminalis-E. baxteri-E. goniocalix-E. dives

(B) E. rossi-E. maculosa-E. dives

Source: Lima et O'Loughlin (sous presse)

Tableau 2

Interception

Essence	Climat Pluvio-métrie moyenne	Climat Tempé-rature moyenne	Hauteur	Densité/ tiges/ ha	Age	Durée des observations (mois)	Valeur des résultats	Interception (I) %	Ecoulement sur écorce (E) %	Précipitation au sol (S) %	Référence	Commentaires
Eucalyptus hybride	1 968	13,1 °C	12,2	1 658	6	12	faible	11,65	7,6	80,75	George M. (1978)	Dehra Dun. 1 maximum dans le mois le moins pluvieux
Pinus roxburghii	"	"	c.13	1 156	26	3	faible	27,0	3,3	69,7	Dabral et Subha Rao (1968)	Dehra Dun
Tectona grandis	"	"	c.21	472	-	3	faible	20,8	6,0	73,2	" "	Dehra Dun
Shorea robusta	"	"	23,77	668	37	3	faible	38,2	7,2	54,6	" (1969)	Dehra Dun "Peuplements Dease"
Acacia catechu	"	"	c.18	574	27	3	faible	28,5	4,2	67,3	" (1969)	" "
Eucalyptus saligna	1 280	20 °C	15,4*	1 667	6*	24	bonne	12,2	4,2	83,6	Lima (1976,6)	*= début de 2° 4 révolution, Saõ Paulo
Pinus caribaea	"	"	6*	1 667	6*	24	bonne	6,6	3,0	90,4	" "	*= " "
E. hybride (tereticornis)	1 000	*(48 °C)	12,1	1 068	5	12	bonne	22,9	-	-	Banerjee (1972)	*= température maxima
E. camaldulensis	600	9,2-30,0	11-14	1 111	7-12	48	rel.élev.	14,63	4,53	80,84	Karshon (1967)	1. mois le plus froid et le plus chaud. Données climatiques détaillées p.9
E. sp. (forêt claire inéquienne)	-		-	-	-	-	-	4	-	-	Millett (1944) Karshon (1967)	Australie
E. niphophila	-		-	-	-	-	-	100.77	-	-	Costin et Wimbush (1961) Karshon (1967)	Australie, zone subalpine
E. regnans (perchis)	-		-	-	-	-	-	16,8-18,7	-	-	Brookes et Turner (1963) Karshon (1967)	"
E. regnans (peuplement adulte)	-		-	-	-	-	-	23,0-26,0	-	-	" "	"
Shorea robusta				1 678				25,3			Ray (1970)	Bengale occidental Pas de référence
Alstonia scholaris				1 675				26,0			" "	Bengale occidental
E. camaldulensis (taillis)	600	9,2-30,0	6,1	870	2	12	rel.élev.	5,3	1,8	92,9	Karshon (1971)	(mois le plus froid et
" "	600	9,2-30,0	-	"	3	12	"	4,6	1,3	94,1	" "	le plus chaud
" "	"	"	9,4	"	4	12	"	7,1	2,0	90,9	" "	Même station que K.67)
E. sp. (forêt naturelle)			12,5		nat	17	élevée	10,6		89,3	Smith (1974)	Nouvelle-Galles du Sud
P. radiata (peuplement adulte)			27		35	17	élevée	18,7		81,2	" "	"

morphologie de leurs feuilles et de l'indice de surface foliaire du peuplement considéré (rapport surface foliaire/surface du sol).

Précipitation au sol et ruissellement sur les troncs

On peut diviser la précipitation qui tombe sur le couvert des arbres en trois fractions principales: l'eau qui est interceptée et s'évapore (perte par interception), celle qui s'écoule le long des troncs (écoulement sur écorce ou ruissellement sur les troncs), et enfin la précipitation au sol (une petite quantité peut également être emmagasinée dans la cime des arbres). Dans toute étude des relations hydriques dans les plantations, la perte par interception, dont nous avons parlé au paragraphe précédent, est la plus importante. La précipitation au sol et l'écoulement sur écorce représentent le reliquat de la précipitation qui n'est pas perdu. Les tableaux 1 et 2 indiquent ces quantités pour différentes conditions et différentes essences. La précipitation au sol aussi bien que l'écoulement sur écorce vont recharger les réserves d'eau du sol; pénétrant à proximité du tronc, l'eau écoulée sur écorce entre en contact immédiat avec les racines, et a des chances de s'infiltrer de manière plus rapide et plus efficace. En dehors de cette différence, les proportions relatives de ces deux quantités ne semblent pas avoir une grande importance.

Recharge de l'eau du sol

Les sections suivantes, qui concernent respectivement la recharge de l'eau du sol, l'écoulement superficiel, le débit des cours d'eau, l'eau souterraine et les bassins versants expérimentaux, sont toutes en relation étroite les unes avec les autres, puisqu'elles traitent toutes du sort de l'eau une fois qu'elle atteint le sol. On a tenté de les présenter séparément ici afin que le raisonnement soit plus facile à suivre.

Des études relatives à la recharge des sols et des nappes phréatiques ont été effectuées par Karschon et Heth (1967) dans le centre de la plaine côtière d'Israël. La zone d'expérimentation a un climat semi-aride, avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 600 mm au cours de la période d'étude et une saison sèche estivale de 3 à 5 mois. Le sol est un limon sableux rouge en dessous duquel on trouve à 120 cm un horizon argileux alluvial non pénétré par les racines. On a fait une comparaison entre une plantation d'Eucalyptus camaldulensis (hauteur 11 m) et un sol nu, les deux stations étant en terrain plat. Les eucalyptus utilisaient toute l'eau disponible. Durant la saison humide, l'évapotranspiration était comparable à l'évaporation dans un bassin d'eau libre, mais à la saison sèche elle était considérablement diminuée. On peut présumer que, si les arbres avaient eu accès à une eau souterraine, ils auraient continué de transpirer fortement. Aucun excédent d'eau n'était disponible dans la plantation pour un écoulement superficiel ou souterrain.

Au contraire, la végétation herbacée de la parcelle nue utilisait moins d'eau, et approximativement 20 pour cent de l'eau était évacuée par drainage. Aucune observation n'a été enregistrée concernant l'érosion mais on peut supposer que celle-ci était négligeable car le terrain était plat.

Aucune comparaison n'a été faite avec d'autres essences forestières, introduites ou indigènes, mais les auteurs indiquent que les taux annuels d'évapotranspiration des eucalyptus sont comparables à ceux enregistrés par d'autres auteurs pour des maquis de chênes et pour les pins.

Les auteurs concluent que la production de bois d'eucalyptus (11,1 m^3/ha/an en moyenne) "excède de loin la valeur de la partie de l'eau perdue qui serait allée s'ajouter aux réserves d'eau souterraine". C'est là, cependant, une appréciation d'avantages socio-économiques relatifs; d'autres pourraient les évaluer différemment dans des circonstances différentes. Il semble que, dans cette localité, la quantité d'eau disponible ait été réduite de 20 pour cent par rapport au sol nu, chiffre qui correspond bien à ceux indiqués pour l'interception. Il est probable qu'une perte plus ou moins comparable se serait produite avec n'importe quel autre peuplement forestier, mais aucune comparaison de ce genre n'a été faite au cours de ces expériences.

Il est évident que, dans ces circonstances, la contribution de la parcelle non boisée à la recharge de l'eau du sol et de la nappe phréatique a été notablement plus importante que celle d'une parcelle couverte d'eucalyptus.

Ecoulement superficiel

Les informations directes sur le ruissellement dans les plantations d'eucalyptus sont peu nombreuses, mais on peut faire certaines déductions à partir des mesures de débit des cours d'eau, car les variations des débits de crue et d'étiage peuvent fournir indirectement des indications.

Chinnamani et al. (1965) ont mesuré l'écoulement superficiel en pourcentage de la précipitation sur une station des monts Nilgiri dans le sud de l'Inde, où la pluviométrie annuelle est de 1 340 mm, sur une période de 7 ans avec 3 répétitions. Ils ont comparé des placettes de 0,02 ha établies dans 5 types de végétation: plantation d'Eucalyptus globulus et Acacia mollissima, shola (forêt sempervirente submontagnarde), lande à Cytisus scoparius, graminées indigènes. La proportion de ruissellement dans les eucalyptus et les acacias était identique à celle mesurée dans la shola, soit un peu plus de 1 pour cent; elle était inférieure dans la cytisaie, et négligeable dans la prairie de graminées. Ces observations ont été poursuivies par Samraj et al. (1977) pendant 3 années supplémentaires, et les résultats ont été comparables.

Débit des cours d'eau

Mathur et al. (1976) ont comparé deux petits bassins versants (0,87 et 1,87 ha) près de Dehra Dun dans le nord de l'Inde, l'un couvert d'une végétation naturelle buissonneuse, l'autre planté d'un mélange d'Eucalyptus grandis et E. camaldulensis. Après une période d'étalonnage de 8 ans, l'un des bassins versants a été planté, l'autre restant en l'état comme témoin. Compte tenu des

différences constatées lors de la période d'étalonnage (la pente du bassin versant boisé était de 5,1 pour cent, celle de l'autre bassin de 9,5 pour cent), le bassin versant boisé présenta une réduction de 28 pour cent du ruissellement et de 73 pour cent du débit de crue. Les eucalyptus s'accompagnaient d'un recrû dense de broussailles, et environ un cinquième de la parcelle était cultivé au moment de la plantation. Ces facteurs peuvent, au moins en partie, expliquer les résultats. A ce propos, de la Lama (1982) souligne l'importance de l'ouverture de banquettes dans les plantations d'eucalyptus pour réduire le ruissellement et accroître l'infiltration.

Bailly et al. (1974) ont rédigé un rapport sur une étude très détaillée menée dans l'est de Madagascar, à 1 000 mètres d'altitude. Les auteurs ont comparé quatre bassins versants dont la taille variait entre 7 et 100 ha: un situé dans la forêt montagnarde naturelle, deux en forêt secondaire, et un quatrième couvert d'une plantation d'Eucalyptus robusta âgée de 48 ans. Les observations se sont poursuivies pendant 8 ans. Les auteurs ont constaté que le débit d'étiage total était minimum pour le bassin versant planté en eucalyptus, et que la proportion du débit de crue y était en moyenne de 21,5 pour cent supérieure. Le coefficient d'écoulement (écoulement/précipitation) était d'autre part bien inférieur, ce qui indique qu'une plus faible proportion de la pluviométrie contribuait au débit du cours d'eau: 4-19 pour cent pour les eucalyptus, contre 16-44 pour cent pour la forêt et 28-56 pour cent pour la brousse.

Les auteurs concluent que l'écoulement plus faible à partir de la forêt, notamment d'eucalyptus, par rapport à la brousse, s'explique par une évapotranspiration plus forte; bien que le débit de crue soit presque le même pour les eucalyptus et pour la forêt naturelle, le débit utilisable provenant de la plantation n'atteint que le tiers environ de celui fourni par la forêt naturelle; la végétation forestière diminue dans une forte proportion les débits de crue, et tempère l'effet de ceux-ci. Les auteurs attribuent l'écoulement bien inférieur à partir des eucalyptus à une évapotranspiration accrue en raison de l'âge uniforme et de la croissance rapide de ce peuplement par comparaison avec la forêt naturelle climacique; en d'autres termes, une croissance plus forte entraîne une consommation d'eau accrue. Toutefois, il est possible également que les bassins versants étudiés n'aient pas été totalement imperméables.

Eau souterraine

Lorsque les racines des arbres sont en contact permanent avec la nappe phréatique (situations 2 et 4 de la figure 2), la végétation, quelle qu'elle soit, transpire rapidement, et consomme donc de grandes quantités d'eau.

Deux questions se posent: a) la consommation de grandes quantités d'eau est-elle bénéfique ou nuisible dans telles ou telles circonstances? b) Les eucalyptus utilisent-ils davantage d'eau que d'autres essences dans des conditions comparables?

La réponse à la première question est évidemment que cela dépend des circonstances. Les eucalyptus ont parfois été utilisés pour abaisser le niveau phréatique dans des zones marécageuses, dans le but soit d'assécher les sols, soit de lutter contre les moustiques; l'effet des eucalyptus répond manifestement dans ce cas au but recherché, et il est bénéfique. Si, par contre, les eucalyptus entraînent une réduction du volume d'eau d'une nappe qui est utilisée en aval pour les besoins familiaux ou pour l'irrigation, l'effet sera vraisemblablement considéré comme nuisible. Dans tous les cas, il importe de considérer le but de la plantation (bois de construction, perches, bois de feu, ombrage, abri, etc.), les diverses utilisations possibles de l'eau, et les coûts et bénéfices totaux dans le contexte socio-économique local.

On ne possède que des données très peu nombreuses sur la consommation d'eau des eucalyptus dans des conditions où les disponibilités ne sont pas limitées, et il n'a pas été possible de trouver de comparaison des eucalyptus avec d'autres essences. Les informations les plus utiles à cet égard se trouvent dans Karschon et Heth (1967) et Karschon (1970). Dans la première de ces études, les auteurs montrent que durant la saison humide (octobre-avril) le rapport entre évapotranspiration et évaporation en bac est en moyenne de 0,83-0,84 pour une forêt d'Eucalyptus camaldulensis, en dépassant parfois ce chiffre. Les chiffres relatifs à l'évapotranspiration, toutefois, ne comprenaient pas les quantités d'eau interceptées par la cime des arbres, et vraisemblablement réévaporées de sorte que l'évaporation totale peut fréquemment égaler, voire dépasser légèrement l'évaporation en bac. En été, l'eau est un facteur limitatif, et les arbres réduisent leur transpiration et, par conséquent, l'absorption d'eau.

Dans des essais d'irrigation, Karschon (1970) a constaté une forte augmentation de la croissance avec un apport d'eau supplémentaire, sauf en été. Il attribue ce phénomène à un repos estival et à une diminution de la transpiration. Il indique cependant que Soulères (1964) a obtenu une réponse notable à un apport d'eau d'irrigation entre avril et octobre (mois d'été) avec Eucalyptus camaldulensis aussi bien qu'E. gomphocephala, ce qui montre que la transpiration n'avait pas diminué dans ce cas précis.

On ne trouve guère de documentation concernant la consommation d'eau des eucalyptus dans des conditions naturelles de disponibilités en eau illimitées au cours des mois d'été, ni de comparaisons entre les eucalyptus et d'autres essences dans de telles conditions. Les observations sur la transpiration mentionnées ci-dessous pourront, toutefois, donner quelques indications à ce sujet.

Rideaux-abris et mélanges agroforestiers

Les effets des rideaux-abris et des mélanges agroforestiers sont complexes. Il peut s'agir, pour les premiers, de changements dans l'évapotranspiration et dans la consommation d'eau de la culture qu'ils protègent et dans la consommation d'eau des arbres eux-mêmes. Il en est de même dans le cas des mélanges agroforestiers.

Les effets des rideaux-abris sont examinés par Jensen (1983). Ils diffèrent selon qu'il s'agit de zones cultivées en sec ou irriguées, et varient en fonction des conditions climatiques. On a montré, par exemple, qu'un blé cultivé en sec dans le sud de la Yougoslavie évaporait plus rapidement en situation abritée qu'à découvert - sans doute en raison d'une croissance plus forte. Par contre, dans le centre du Sénégal, l'évaporation dans une rizière protégée est de 40 pour cent inférieure à celle d'une rizière exposée aux vents desséchants.

Toutefois, Jensen n'a trouvé aucune mesure de la consommation d'eau tant par la culture que par les arbres, et il n'y a pas non plus de témoignages qui indiquent que les eucalyptus diffèrent dans leurs effets d'autres espèces arborescentes.

De simples mesures de la consommation d'eau ne sont pas suffisantes dans de tels cas. Il faut prendre en compte d'autres facteurs, à savoir les avantages offerts tant par les cultures que par les arbres, et l'efficacité avec laquelle l'eau est utilisée pour obtenir ces avantages. Les autres utilisations possibles de l'eau doivent également être prises en considération, le cas échéant.

Bassins versants expérimentaux

La seule étude pleinement satisfaisante de bassins versants expérimentaux qui concerne une espèce d'eucalyptus est celle de van Lill *et al*. (1979). Il s'agit d'une expérimentation menée dans l'Escarpement oriental du Transvaal, en Afrique du Sud. Au cours de l'expérience, la pluviométrie annuelle moyenne a été de 1 140 mm dans une première période de faibles précipitations, puis de 1 340 mm pendant une période plus pluvieuse. La végétation originelle est une prairie à saison sèche (mai à septembre), avec des formations de forêt feuillue sempervirente en galeries le long des cours d'eau.

Les mesures de débits provenant des bassins versants sous couvert naturel de graminées ont commencé en 1956. L'un des bassins versants a été planté d'*Eucalyptus grandis* en 1969 après 12 années d'étalonnage, un second de *Pinus patula* en 1971, tandis que le troisième a été maintenu dans son état naturel. On a utilisé une méthode simple d'analyse par régression, qui a montré que le reboisement en *E. grandis* exerçait une influence observable dès la troisième

année après la plantation, avec une réduction apparente maximum des débits, exprimée en équivalent de pluviométrie, comprise entre 300 et 380 mm par an, et des réductions maxima de débits saisonniers d'environ 200-260 mm/an en été et 100-130 mm/an en hiver.

A partir de la sixième année environ les réserves en eau du sol en hiver n'étaient apparemment plus suffisantes pour faire face aux besoins d'évapotranspiration des arbres en pleine croissance. Cette expérience ne fournit donc pas de données sur l'évapotranspiration potentielle dans les peuplements d'eucalyptus.

Au moment où l'étude a été publiée, il était encore trop tôt pour formuler des conclusions définitives au sujet de l'influence du reboisement en Pinus patula, et donc aussi des effets comparés des espèces d'eucalyptus et de pins choisies. Les auteurs indiquent, à titre de conclusion provisoire, que les effets hydrologiques de la plantation de pins sont en retard d'un an par rapport à ceux des eucalyptus, et que la réduction des débits est initialement bien inférieure.

Cet article renferme par ailleurs des observations intéressantes sur la relation entre pertes par transpiration et caractéristiques du peuplement forestier. Au cours des premières années, la transpiration - et la perte par interception - s'accroissent avec l'âge du peuplement, mais à mesure que celui-ci devient adulte des variables telles que l'indice de surface foliaire ne s'accroissent pas indéfiniment, et des changements physiologiques interviennent avec l'âge. Il est probable que les peuplements d'Eucalyptus grandis se comportent comme d'autres peuplements forestiers, et que l'évapotranspiration est en rapport avec les variables dimensionnelles du peuplement et avec les caractéristiques physiologiques inhérentes à l'espèce plutôt qu'avec l'âge absolu du peuplement. On peut prévoir en conséquence que la tendance actuelle des débits provenant du bassin versant reboisé en E. grandis ne se maintiendra pas, et même qu'un renversement de tendance est probable. La même évolution est probable dans le cas du bassin versant planté en Pinus patula, mais elle pourrait être plus lente.

Effets nuisibles du déboisement d'une forêt d'eucalyptus

Pour bien montrer que la plupart des effets écologiques ne peuvent être convenablement évalués que dans un contexte socio-économique défini, il est intéressant de relater les conséquences de la suppression d'un couvert d'eucalyptus en Australie occidentale. Le texte ci-dessous est extrait de l'ouvrage de Pereira (1973).

"Sur un terrain où une forêt sempervirente utilise l'eau toute l'année, l'élimination des arbres et leur remplacement par des cultures annuelles à cycle court peuvent avoir pour résultat une importante réduction de la consommation d'eau. De nombreuses terres changent ainsi depuis plusieurs années en Australie occidentale, et les conséquences hydrologiques sont d'ores et déjà

préoccupantes. Quelque 120 000 km^2 de forêts claires ouvertes sèches spontanées, poussant sous un climat à pluviométrie hivernale de 400 à 600 mm/an, ont été entièrement défrichés à l'exception des berges de cours d'eau et des fonds de thalwegs. Les essences dominantes de la forêt claire sont des eucalyptus à enracinement profond. Les terres sont maintenant cultivées en assolement biennal blé/prairie annuelle à cycle court de graminées et de trèfles. Il n'y a pas de graminées pérennes susceptibles de fournir un pâturage permanent et, pendant la saison sèche, les moutons survivent en broutant les graminées annuelles sèches sur pied et en consommant les graines de trèfle annuel. Avec un été sec et chaud entraînant une évaporation totale annuelle en eau libre de quelque 2 000 mm, soit environ quatre fois la pluviométrie annuelle, il est en vérité surprenant de voir apparaître un excès d'eau. Cependant, la forêt claire pousse au-dessus d'une nappe salée et, là où elle est défrichée, l'excédent de pluies hivernales s'infiltre jusqu'à la nappe, de sorte que des sources salées apparaissent sur les versants et se répandent sur les zones basses. Sur des centaines de kilomètres de lignes de drainage, des arbres morts ou dépérissants témoignent de manière frappante de la progression constante d'un changement dans l'utilisation des terres qui ne tient aucun compte de l'hydrologie.

"Des relevés détaillés des zones salées ont été effectués en 1955 puis en 1962. Dans cet intervalle de 7 ans, les terres salées ont augmenté de 720 km^2, pour atteindre actuellement 1 200 km^2 au total, selon une estimation plutôt modérée. Plus important encore que la perte de terres est l'effet sur la qualité des eaux courantes. La plupart des cours d'eau avaient à l'origine une eau douce, du fait que, sous la forêt claire d'eucalyptus, la nappe salée restait emprisonnée sous une couche plus ou moins imperméable d'argile. On dispose de données exceptionnellement bonnes sur la qualité de l'eau parce que celle-ci a été soigneusement contrôlée à partir de 1880 par les ingénieurs des chemins de fer. L'eau de la Blackwood River, par exemple, a été analysée en 1880 et jugée suffisamment douce pour les chaudières des locomotives. Vers 1910 une nombreuse population s'était installée et de vastes terres ont été défrichées en vue de la culture céréalière dans le haut bassin de cette rivière; en 1920, l'eau était déjà devenue trop salée pour être utilisée dans les locomotives. A l'heure actuelle, elle est trop salée même pour l'irrigation normale, et ne peut être utilisée que pour des cultures tolérantes au sel telles que les pommiers...
Les autorités de l'Etat ont jugé ces faits concluants, et ont limité le défrichement de certains bassins versants en vue de protéger d'importantes ressources en eau."

Il convient toutefois de souligner une fois encore que cet effet n'est pas particulier aux eucalyptus, mais aurait pu être provoqué, dans les mêmes conditions, par le défrichement de n'importe quel type de couvert forestier.

Débats et conclusions

Questions abordées et données rassemblées

Les questions que nous avons essayé d'aborder dans cette analyse de la documentation disponible sont les suivantes:

> Les eucalyptus consomment-ils plus d'eau que la végétation qu'ils remplacent, ou que d'autres essences forestières de remplacement?
>
> Ont-ils un effet défavorable sur les caractéristiques des bassins versants, par comparaison avec d'autres types de végétation tels que forêt naturelle ou prairie?

Les documents examinés sont de deux sortes: études scientifiques concernant spécialement les recherches et observations sur les effets des eucalyptus sur le cycle de l'eau; textes généraux exposant les connaissances les plus récentes en matière de principes de l'hydrologie des bassins versants.

Les études les plus utiles sont celles qui s'efforcent de traiter de l'ensemble du système (études de bassins versants de van Lill et al., 1980), et l'analyse générale des ouvrages sur l'hydrologie des forêts d'eucalyptus en Australie (Lima et O'Loughlin, sous presse). La plupart des autres documents ne portent que sur des fractions du cycle; presque tous concernent des conditions locales particulières, et très peu font des comparaisons rigoureuses entre l'eucalyptus et les autres essences ou types de végétation possibles. Leurs conclusions doivent en conséquence être abordées avec prudence, et interprétées à la lumière de la masse de connaissances générales acquises récemment sur le fonctionnement du système hydrologique et l'hydrologie des bassins versants.

Conclusions

Climat. Les effets de grandes plantations d'eucalyptus sont vraisemblablement les mêmes que ceux d'une autre couverture végétale ayant une structure et un albedo comparables. Ces effets auront des chances d'être bénéfiques si les plantations remplacent un sol nu. Là où il y a des brouillards dérivants, les eucalyptus, comme n'importe quels autres arbres, serviront à recueillir un supplément de précipitation. Il n'y a pas de preuves concluantes concernant les effets spécifiques des eucalyptus sur le climat.

Microclimat. Il peut y avoir des différences dans le microclimat à l'intérieur des plantations d'eucalyptus par comparaison avec celles d'autres essences, du fait qu'ils ont un feuillage persistant et léger. Il n'y a aucune documentation à ce sujet.

Interception. Dans toute forêt, l'interception représente la perte d'eau la plus importante pour le système, ce qui est dû au fait que la plus grande partie se réévapore sans atteindre le sol. Elle peut toutefois contribuer à réduire la quantité d'eau prélevée dans le sol par les racines des arbres et ensuite transpirée. On possède une masse considérable de données sur l'interception. En règle générale, on constate que les eucalyptus interceptent entre 11 et 20 pour cent de la précipitation, ce qui est moins que les pins mais beaucoup plus qu'une végétation basse. Les comparaisons entre eucalyptus et autres essences feuillues donnent des résultats contradictoires.

Ruissellement. Il y a peu de données comparatives. L'importance du ruissellement dépend de la présence de litière et de végétation basse, qui varie certainement beaucoup en fonction du climat. Les rares témoignages qui existent semblent indiquer que le ruissellement à partir d'une plantation d'eucalyptus est supérieur à celui d'une prairie ou d'une végétation buissonneuse basse. L'étage herbacé des plantations d'eucalyptus est clairsemé sous les climats secs en raison de la concurrence des racines, et sans doute d'effets allélopathiques. Les feux, auxquels les eucalyptus sont particulièrement sujets, accentuent ce caractère en détruisant tant la végétation herbacée que la litière.

L'influence des eucalyptus sur le ruissellement se traduit aussi par des débits de crue élevés et des débits d'étiage diminués dans les bassins versants qu'ils occupent. Ces effets défavorables peuvent naturellement être atténués par l'ouverture de banquettes - pratique qui est également bénéfique pour l'installation et la croissance des eucalyptus sur des stations sèches en forte pente.

Consommation d'eau et recharge des nappes phréatiques. Ces effets ont été bien résumés par Lima et O'Loughlin dans leur ouvrage (sous presse), dont nous citerons les extraits ci-dessous:

> L'extension latérale et la profondeur de pénétration du système radiculaire des eucalyptus varient selon les espèces, et sont en rapport avec l'intensité de l'absorption d'eau. Le prélèvement d'humidité dans le sol dépend également de la densité du peuplement et des conditions édaphiques et écologiques. Dans des conditions de végétation sclérophylle alpine sèche, le régime hydrique du sol ne diffère pas selon qu'il s'agit de forêt d'eucalyptus, de prairie de graminées ou d'autres formations herbacées.
>
> Dans des régions de sols profonds et de pluviométrie relativement élevée, le déficit d'eau du sol engendré par les forêts d'eucalyptus semble être aux alentours de 250 mm/an. Par rapport aux terres cultivées ou aux prairies, cela signifie qu'un terrain boisé d'eucalyptus produit environ 70 mm de moins par an en débit de cours d'eau ou recharge de la nappe. Des études comparatives ont montré que, dans l'ensemble, le régime de l'eau du sol dans les forêts d'eucalyptus ne diffère pas de celui observé dans des plantations de pins.

Les effets des plantations d'eucalyptus sur les réserves d'eau du sol commencent, semble-t-il, à apparaître à un âge d'environ 4 à 6 ans; à ce moment-là, le déficit d'eau du sol engendré par la plantation au cours de l'année est comparable à celui observé dans une forêt à maturité.

Les taux de transpiration diffèrent selon les espèces d'eucalyptus, variant, semble-t-il, entre 20 et 40 litres par arbre et par jour. Le taux d'évaporation des forêts d'eucalyptus dans des conditions de terrain est plus difficile à déterminer, mais il varierait entre 1,5 mm par jour en hiver et 6,0 mm par jour en été.

Certaines espèces d'eucalyptus n'ont pas développé de mécanismes pour réduire leur transpiration et ont des chances de souffrir de contraintes de sécheresse, ce qui limite leur aire d'habitat. La majorité des eucalyptus, cependant, ont une plus ou moins grande faculté de réduire leur taux de transpiration, ce qui leur permet de surmonter les sécheresses saisonnières, et est, semble-t-il, en relation avec le régime pluviométrique de leurs habitats naturels.

L'évapotranspiration moyenne d'une forêt d'eucalyptus de densité normale est probablement de l'ordre de 1 000 mm par an pour des pluviométries supérieures à 1 200 mm. En climat plus sec, l'évapotranspiration diminue, se réduisant sans doute à 450 mm par an lorsque la pluviométrie annuelle est d'environ 500 mm. Dans les régions plus humides, l'évapotranspiration augmente, pour atteindre finalement une valeur de 1 500 mm par an dans les forêts d'eucalyptus tropicaux aux basses latitudes. Des études comparatives ont montré que l'évapotranspiration annuelle moyenne dans des plantations de pins était du même ordre de grandeur que celle observée dans les forêts d'eucalyptus.

On a constaté qu'un jeune recrû dense et vigoureux de forêt d'Eucalyptus regnans fournissait moins d'eau qu'une forêt à maturité. A l'âge de 21 ans, la différence constatée était de l'ordre de 200 mm par an, mais les rendements en eau des bassins versants tendent à s'égaliser à mesure que le recrû avance en âge.

L'éclaircie et la coupe sélective dans une forêt mûre d'eucalyptus peuvent réduire la consommation d'eau et accroître l'alimentation des cours d'eau. La coupe à blanc d'une forêt humide d'eucalyptus à maturité accroît le débit des cours d'eau d'une valeur moyenne équivalant à environ 400 mm par an. L'effet de la coupe à blanc sur le rendement en eau du bassin versant est maximum au cours de la seconde année suivant la coupe.

Par contre la coupe de vastes surfaces de forêts d'eucalyptus peut entraîner un accroissement considérable du rendement en eau d'un bassin versant et une élévation du niveau de la nappe dans les plaines situées en aval.

Conclusions et directives générales

La plantation de vastes forêts d'eucalyptus dans un bassin versant déboisé diminue sensiblement son rendement en eau; l'abattage de telles forêts l'accroît. L'effet de réduction du rendement en eau des eucalyptus est probablement inférieur à celui des pins, et supérieur à celui d'autres essences feuillues, mais toutes les essences arborescentes réduisent le rendement des bassins versants par rapport aux formations buissonneuses ou herbeuses.

Par conséquent, si le rendement en eau du bassin versant ou le niveau de la nappe phréatique dans les basses terres voisines sont des facteurs importants, il faudra étudier la situation de très près avant d'entreprendre des reboisements à grande échelle.

Les effets des eucalyptus sur le ruissellement, et par conséquent sur l'érosion (voir ci-dessous), varient dans une large mesure en fonction des conditions locales de climat et de pente, et de l'utilisation du sous-bois et de la litière par la population locale. Ils sont fonction de la protection fournie au sol par la végétation basse et la litière, et les différences entre eucalyptus et autres essences dépendent de leurs effets sur celles-ci. Les conditions de plantation, les éclaircies, etc. sur des pentes raides sensibles à l'érosion doivent chercher à favoriser la végétation de sous-bois et l'accumulation de litière, et la couverture morte doit être protégée contre le feu et la récolte de litière. La confection de banquettes peut compenser une couverture de sol déficiente.

Les coûts et bénéfices de chaque projet de plantation d'eucalyptus doivent être soigneusement évalués, en tenant le plus grand compte des caractéristiques écologiques de la station, de l'importance du rendement en eau du bassin versant concerné, et des besoins locaux en produits forestiers et en eau.

CHAPITRE II

EROSION

Erosion hydrique

On ne trouve dans la littérature à peu près aucun résultat expérimental comparant l'érosion sous les eucalyptus et sous d'autres formes de végétation. Chinnamani et al. (1965), travaillant dans les monts Nilgiri en Inde (voir section ci-dessus sur l'écoulement superficiel), ont constaté une perte de sol négligeable sous une végétation de broussailles, de lande et de prairie et sous des peuplements artificiels d'Eucalyptus globulus et Acacia mollissima, sauf immédiatement après la préparation du terrain en vue de la plantation et après une éclaircie. Mathur et al. (1976) ont mesuré la perte de sol dans les expériences décrites ci-dessus à la section "débit des cours d'eau"; la variabilité des résultats obtenus, toutefois, était trop grande pour en tirer des conclusions valables.

Il y a en conséquence peu de chose à ajouter à l'étude de Harcharik et Kunkle (1978) sur ce sujet. Ce qui suit est adapté de leur résumé.

La plupart des eucalyptus ne sont pas de bons arbres pour la lutte contre l'érosion, dans leur jeune âge, ils sont très sensibles à la concurrence de l'herbe, et pour obtenir une bonne croissance, il est nécessaire de désherber en plein durant la période d'installation, ce qui est peu désirable sur des pentes raides érodibles. Même un peuplement adulte peu être inefficace pour arrêter le ruissellement superficiel.

Stein (1952), par exemple, a observé que dans des zones sèches en pente plantées d'Eucalyptus globulus le développement du sous-bois et l'accumulation de litière étaient insuffisants pour empêcher le ruissellement. E. globulus est un arbre à croissance rapide, à cime épaisse, qui projette une ombre dense mais produit peu de litière. En plantations fermées il a des besoins en eau importants et un système radiculaire exceptionnellement étendu et dense qui lui permet de lutter avec succès dans la concurrence pour l'eau du sol, notamment avec des végétaux plus petits à enracinement superficiel. Cela a peu d'importance dans des zones humides, telles que certaines régions du sud de l'Inde où le sous-bois survit bien sous E. globulus, mais là où la pluviométrie est inférieure à 750 mm l'absence de sous-étage, associée à un faible développement de la couverture vivante et de la litière, laisse le sol exposé au ruissellement. Dans de telles conditions, Stein (1952) recommandait d'éclaircir les peuplements denses, de planter à plus large écartement (187-231 arbres/ha) ou d'irriguer afin de stimuler le développement du sous-étage.

En conséquence, les plantations denses d'eucalyptus ne sont généralement pas recommandées pour la lutte contre l'érosion, en particulier en climats semi-arides, sauf dans le cas où leur production de litière peut compenser un sous-étage léger, ou bien lorsque la plantation s'accompagne d'ouvrages antiérosifs

ou de plantes de couverture. (Dans de tels cas, cependant, la litière est bien souvent récoltée par la population locale ou enlevée pour réduire le risque d'incendie. On nous a rapporté à de multiples reprises le cas de plants dont le collet était à plusieurs centimètres au-dessus du niveau du sol en raison de l'érosion en nappe ou par le vent dans de telles conditions).

Là où des ouvrages de conservation du sol et de l'eau sont établis, cependant, on plante parfois des eucalyptus sur des pentes raides sensibles à l'érosion. Pour les régions semi-arides, Goor et Barney (1976) indiquent Eucalyptus camaldulensis, E. hemiphloia et E. occidentalis. Sur le plateau de Mambilla au Nigéria (1 500-2 000 m d'altitude), plus humide, Fox (1977) recommande un hybride d'E. grandis (avec E. saligna) pour couvrir rapidement le sol et produire de grands volumes de bois sur des terrains érodés en forte pente, en associant à la plantation l'ouverture de fossés de niveau.

Rideaux-abris et érosion éolienne

Comme on l'a mentionné plus haut, les eucalyptus sont souvent plantés en rideaux-abris, et fournissent ainsi une certaine protection contre l'érosion éolienne. Toutefois, étant donné qu'il s'agit d'un phénomène strictement physique, les effets dépendent uniquement des caractéristiques physiques du terrain et du rideau-abri. L'essence utilisée n'a pas d'influence sur le résultat sinon, évidemment, dans la mesure où les différentes essences ont des caractéristiques physiques différentes. L'effet antiérosif des rideaux-abris a été analysé par Jensen (1983), auquel le lecteur pourra se référer pour plus ample information.

CHAPITRE III

ELEMENTS NUTRITIFS

Introduction

Il est impossible de présenter ici une introduction complète aux sols et au cycle des éléments nutritifs mais, comme dans le cas du cycle de l'eau, il est nécessaire d'expliquer certaines des caractéristiques générales de l'économie des éléments nutritifs dans les écosystèmes pour pouvoir comprendre les divers effets possibles de l'introduction d'une plantation d'eucalyptus dans un écosystème donné. En conséquence, nous présenterons un modèle simple de l'économie des principaux éléments minéraux (à l'exception de l'azote) qui sont importants dans la nutrition des plantes (P, K, Mg, Ca, S et oligo-éléments); tous se comportent pour l'essentiel de la même manière. Nous expliquerons ensuite en quoi l'économie de l'azote en diffère. Par souci de simplicité le modèle présenté correspond à un écosystème qui est en état d'équilibre dynamique et qui n'est pas exploité par l'homme. Il sera ensuite relativement simple de l'utiliser pour montrer quels genres d'effets y sont introduits par les activités humaines.

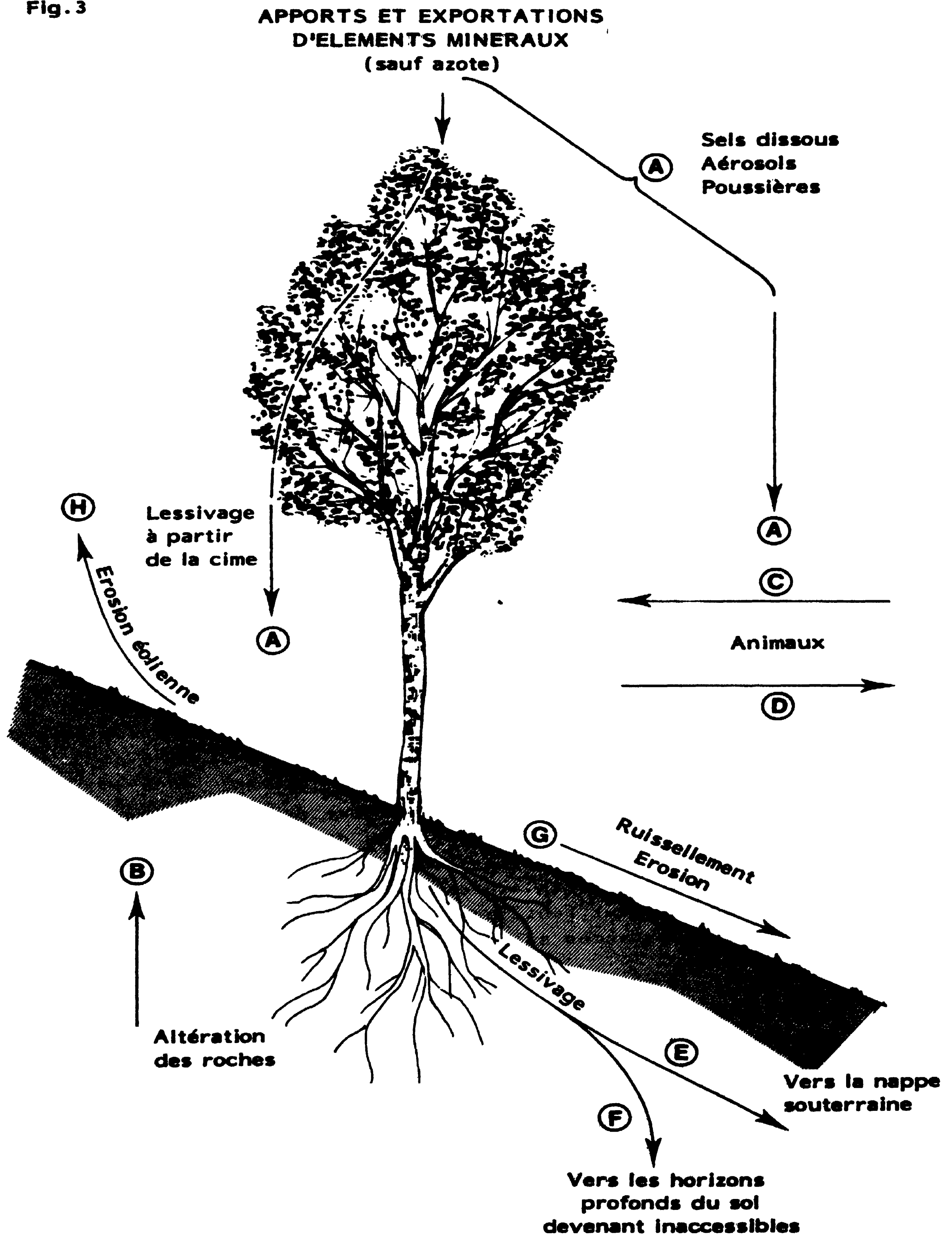
Les différents apports et exportations d'éléments minéraux sont illustrés dans la figure 3. La biomasse (plantes et animaux vivants) et le sol peuvent être considérés comme constituant ensemble une banque d'éléments minéraux. (Il y a aussi, à l'intérieur de la banque, une circulation interne sur laquelle nous reviendrons; pour le moment nous nous en tiendrons aux seuls apports et exportations du système).

Il y a deux modes principaux d'apports:

1) A partir de l'atmosphère (A) sous forme de sels dissous, aérosols ou poussières, qui sont soit recueillis directement dans l'atmosphère par la pluie qui tombe, soit lessivés sur les organes des plantes où ils s'étaient déposés. (Les arbres, en raison de la surface et de la disposition de leur feuillage, sont particulièrement efficaces pour capter les substances solides et aérosols que le vent pousse dans leurs cimes).

2) A partir de l'altération chimique et physique des roches sous-jacentes (B). En outre, les animaux qui pénètrent dans la zone considérée peuvent y apporter des éléments nutritifs sous forme de matières fécales ou de cadavres (C). (L'apport de phosphore par les déjections des oiseaux sous leurs perchoirs peut représenter des quantités importantes). De même les animaux peuvent exporter des éléments minéraux (D) lorsqu'ils quittent la zone.

Fig. 3


APPORTS ET EXPORTATIONS
D'ELEMENTS MINERAUX
(sauf azote)
A
Sels dissous
Aérosols
Poussières
H
Lessivage
à partir
de la cime
A
Erosion éolienne
A
C
Animaux
D
G
Ruissellement
Erosion
B
Lessivage
Altération
des roches
E
Vers la nappe
souterraine
F
Vers les horizons
profonds du sol
devenant inaccessibles

Les principales exportations sont les suivantes:

1) Lessivage du sol par l'eau de pluie qui s'infiltre, auquel cas les éléments minéraux sortent du système pour se retrouver soit dans la nappe phréatique (E), soit dans le sous-sol à une profondeur inaccessible (F).

2) Transport par l'eau de ruissellement, en solution ou dans les particules de sol arrachées par l'érosion (G).

3) Transport par le vent de particules de sol arrachées par l'érosion éolienne (H).

La nature de la couverture végétale a une influence sur tous ces processus, et leur importance relative varie beaucoup selon les circonstances.

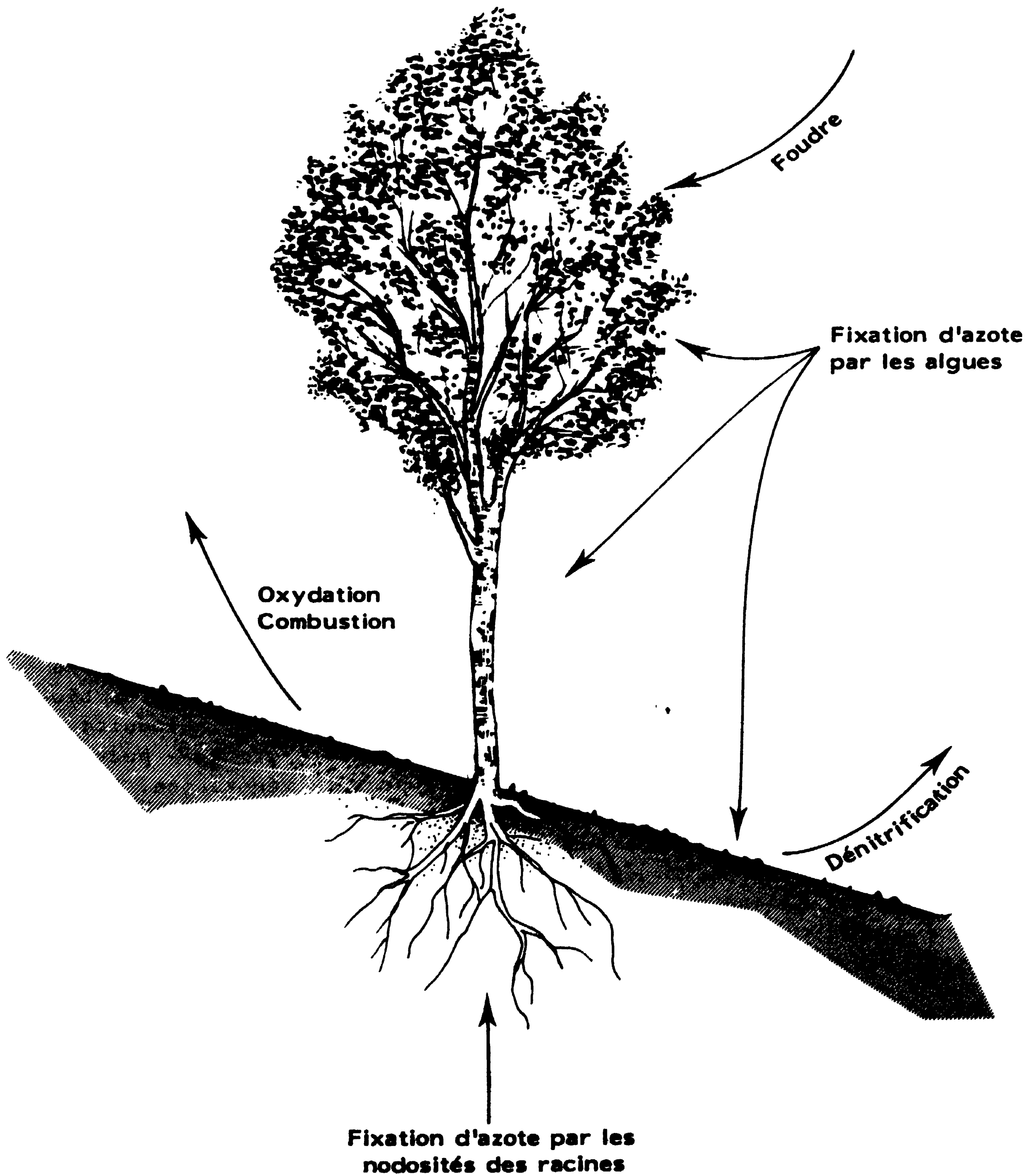
A l'intérieur du système il y a également une circulation des éléments nutritifs. Les racines prélèvent dans le sol des éléments minéraux. Une petite quantité peut aussi être absorbée par les feuilles à partir de l'eau de pluie, mais elle est généralement plus que compensée par les éléments nutritifs lessivés sur les feuilles et arrivant au sol dissous dans l'eau de pluie. Les feuilles, les rameaux, les fleurs, les fruits, les déjections et cadavres animaux tombent sur le sol, où ils sont minéralisés par l'action des organismes qui hâtent leur décomposition (champignons, bactéries et autres), et les éléments minéraux ainsi rendus assimilables sont absorbés à nouveau par les racines des plantes. L'influence de la matière organique sur la structure du sol est très importante; elle détermine les quantités d'éléments essentiels disponibles pour la croissance des plantes.

Telles sont les caractéristiques essentielles des réserves minérales dans un écosystème et de la circulation des éléments minéraux entre la biomasse et la masse du sol. Une complication supplémentaire est introduite par le fait que certains éléments minéraux - notamment phosphore et fer - peuvent être immobilisés dans le sol et devenir indisponibles pour la végétation. Pour cette raison, et également parce qu'il est très difficile d'avoir une mesure précise du rythme auquel les éléments minéraux sont libérés par l'altération des roches, la quantité exacte d'éléments minéraux disponibles ou potentiellement disponibles à un moment quelconque pour la croissance des plantes est extrêmement difficile à évaluer. Cela introduit un élément d'incertitude dans toutes les estimations et prévisions avancées dans la suite de cette section.

Tous ces processus interviennent aussi dans le cas de l'azote, mais il y a des complications supplémentaires en l'occurrence, dues pour une large part au fait que cet élément peut pénétrer dans le système ou en sortir non seulement sous forme d'ions - nitrate, nitrite, ammonium -, mais également sous forme gazeuse: azote, oxyde nitreux, ammoniac (voir figure 4).

Fig.4

EXPORTATIONS ET APPORTS SUPPLEMENTAIRES D'AZOTE



Les principaux apports supplémentaires sont les suivants:

1) Les nitrates peuvent être synthétisés à partir de l'azote gazeux dans les nodules bactériens des racines de certaines espèces végétales, appartenant notamment à la famille des légumineuses et aux genres Alnus et Casuarina. Ils peuvent également être produits par certaines algues bleues.

2) Des composés azotés pourraient également être synthétisés à partir d'azote élémentaire dans les orages électriques, et entrer dans le système par les précipitations. Söderlund, dans Anon. (1981), discute des quantités d'azote rendues disponibles à l'échelle mondiale par dépôt liquide ou solide.

Les principales pertes supplémentaires sont les suivantes:

1) Oxydation de la matière organique à la surface du sol, soit par exposition à des températures élevées et à la pleine lumière (par exemple lorsque la forêt est abattue), soit par le feu.

2) Processus de dénitrification en conditions anaérobies dans le sol, l'azote étant libéré sous forme d'azote gazeux ou d'oxyde nitreux.

La quantité et l'état de la matière organique dans le sol sont importants pour déterminer si l'azote qu'il renferme peut être absorbé par les racines des plantes.

Effets possibles des eucalyptus sur le bilan des éléments nutritifs

On a avancé un certain nombre d'effets possibles des plantations d'eucalyptus sur le bilan des éléments nutritifs. Une des critiques formulées à l'encontre des eucalyptus est qu'ils risquent d'épuiser le sol en éléments nutritifs, notamment si on les exploite sur plusieurs révolutions. C'est là, évidemment, un argument général qui vaut pour toutes les essences de reboisement à croissance rapide, dont les eucalyptus. Quelle est sa validité? Et y a-t-il des preuves que les eucalyptus soient particulièrement exigeants à cet égard? On a aussi avancé que les eucalyptus pourraient provoquer une perte d'éléments nutritifs en favorisant le ruissellement et les pertes de sol par érosion hydrique et éolienne.

Par contre , on a affirmé que les eucalyptus peuvent améliorer les caractéristiques du sol lorsqu'on les plante sur des terrains dégradés ou déboisés en améliorant la structure du sol superficiel, en pénétrant des couches relativement imperméables du sous-sol et en remontant des éléments nutritifs des horizons profonds. Toutes ces affirmations sont-elles fondées?

Effet sur les apports

Il y a peu de témoignages concluants concernant l'effet sur les apports par les précipitations. George (1979) a estimé les taux d'éléments nutritifs contenus dans l'eau de pluie, la précipitation au sol et l'eau qui ruisselle sur les troncs dans une plantation d'eucalyptus hybrides à Dehra Dun dans le nord de l'Inde. Les données sur les concentrations d'éléments nutritifs sont présentées dans le Tableau 3, et les apports totaux (en kg/ha/an) dans le Tableau 4. On peut voir que les concentrations de sels dans l'écoulement sur écorce et, dans une moindre mesure, dans la précipitation au sol sont supérieures à celles de l'eau de pluie; mais il est difficile de dire si ces quantités supplémentaires proviennent de lessivage du feuillage (c'est-à-dire de circulation interne) ou d'entraînement d'aérosols et de poussières déposés sur les feuilles (ce qui équivaudrait à un apport). Attiwill (1966), dans une étude faite sur une forêt adulte d'Eucalyptus obliqua de la Cordillère australienne (sud-est de l'Australie), conclut quant à lui que la principale contribution provient du lessivage d'éléments nutritifs sur les feuilles.

Lima (1975) a comparé l'influence d'Eucalyptus saligna et de Pinus caribaea var. caribaea sur la qualité de l'eau de pluie mesurée par sa conductivité, sa couleur et sa turbidité, et constaté que ces caractéristiques étaient davantage modifiées par les eucalyptus que par les pins, et davantage dans l'écoulement sur écorce que dans la précipitation au sol. L'écoulement sur écorce est particulièrement important, du fait qu'il amène les éléments nutritifs directement dans la zone des racines absorbantes.

Le Tableau 5 donne des exemples d'apports estimés d'éléments dans l'eau de pluie et de quantités d'éléments libérés par l'altération du granit, tous deux en Australie. Ces chiffres fournissent un exemple de l'ordre de grandeur des apports possibles. Le Tableau 6 présente d'autres chiffres, et les compare avec les pertes dans les cours d'eau; ces données sont discutées ci-dessous. On ne dispose d'aucun témoignage concernant les apports par les animaux, ni de comparaisons entre eucalyptus et autres essences.

Lima et O'Loughlin (sous presse) présentent des témoignages intéressants sur l'interaction de la pluie avec le couvert forestier. Le Tableau 7 compare les teneurs en éléments nutritifs de l'eau de pluie, de la précipitation au sol et de l'écoulement sur écorce dans quatre types différents de forêt d'eucalyptus. On peut voir qu'il y a de manière régulière enrichissement de l'eau de pluie, notamment en sodium et potassium, après qu'elle est passée à travers la cime des arbres. Le sodium lessivé représente environ 2 fois la quantité qu'on trouve dans la litière qui tombe au sol, le potassium 1,3 fois. Ce processus est évidemment important en ce qui concerne la circulation interne des éléments dans l'écosystème; mais, naturellement, seules la précipitation et les particules entraînées par l'eau amènent un apport net d'éléments nutritifs.

Tableau 3

Concentration d'éléments nutritifs dans l'eau de pluie, la précipitation au sol et l'écoulement sur écorce

	Eléments nutritifs (ppm)				
	K	Ca	Mg	N	P
Ecoulement s/écorce	3,07	3,01	0,19	0,18	0,07
Précipitation au sol	0,70	0,65	0,15	0,15	0,01
Eau de pluie	0,31	0,35	0,15	0,10	0,01

Source: George (1979)

Tableau 4

Apports d'éléments nutritifs par écoulement sur écorce, précipitation au sol et eau de pluie (kg/ha/an)

	Eléments nutritifs				
	K	Ca	Mg	N	P
Ecoulement sur écorce	3,9	3,8	0,2	0,2	0,1
Précipitation au sol	9,4	8,8	2,0	2,0	0,1
Total	13,3	12,6	2,2	2,2	0,2
Eau de pluie	5,2	5,9	2,5	1,7	0,2
Total général	18,5	18,5	4,7	3,9	0,4

Source: George (1979)

Tableau 5

Apports d'éléments nutritifs dans les écosystèmes forestiers
par les précipitations et par l'altération du granit

Elément	Apports d'éléments nutritifs par les précipitations Valeurs extrêmes trouvées en Australie (kg/ha/an)	Eléments libérés par l'altération du granit (kg/ha/an)
Na	2 111	9
K	03 14	9
Mg	03 15	2
Ca	08 35	6
Cl	2 180	0,06
NH_4N	07 2	
NO_1N	03 1	
P	01 03	0,07
Mn		0,11

Source: Hingston, F.J. (1977).

Tableau 6

Apports d'éléments nutritifs dans les précipitations (P) et exportations dans les cours d'eau (Q) dans un bassin versant pour quelques types de forêts d'eucalyptus (kg/ha/an)

Espèce d'eucalyptus	Ca		Mg		K		P		Na	
	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q
E. obliqua (A)	2.6	0.2	5.4	3.6	2.0	2.0	0.01	0.02	-	-
Forêt sclérophylle sèche	3.2	0.4	1.1	1.1	1.8	0.3	0.01	0.01	2.8	2.7
E. obliqua (B)	1.3	0.2	1.4	3.6	4.2	2.1	-	-	17.9	19.8
Forêt sclérophylle humide-sèche	7.0	7.1	1.5	4.5	-	-	0.33	0.26	2.5	15.9
E. regnans (?)	6.6	10.3	2.6	4.9	2.9	7.5	0.15	0.12	12.4	20.4
E. regnans (D)	6.6	16.8	2.6	7.4	2.9	8.7	0.15	0.15	12.4	32.8

(A) E. radiata - E. viminalis - E. mannifera

(B) E. radiata - E. dives - E. delegatensis - E. pauciflora - E. dalrympleana

(C) 60% de vieux peuplements, 16% de recrû

(D) Vieux peuplements

Source: Lima et O'Loughlin

Tableau 7

Lessivage des éléments nutritifs dans les cimes de peuplements d'eucalyptus par la pluie,
(P = eau de pluie, S = précipitation au sol,
E = écoulement sur écorce)

Espèce d'eucalyptus	Processus	kg/ha/an					
		K	Ca	Mg	Na	SO_4	P
E. signata-E. umbra	P	3.4	3.2	5.9	5.0	9.6	-
	S	8.5	14.0	7.2	44.0	17.0	-
	E	0.9	0.8	1.1	8.1	0.7	-
E. melanophloia	P	2.6	1.9	0.7	3.7	-	0.1
	S	22.1	9.3	8.1	6.4	-	0.5
	E	0.7	0.5	0.5	0.2	-	0.01
E. oobliqua	P	4.2	1.3	1.4	17.9	-	-
	S	15.4	6.3	6.0	37.2	-	-
E. obliqua	P	2.0	2.7	5.4	16.8	-	-
	S	13.4	8.0	7.3	25.4	-	-

Source: Lima et O'Loughlin.

Effet sur les exportations

Les seules données dont on dispose proviennent de forêts naturelles, et il y a un danger manifeste à les extrapoler à des plantations, surtout du fait que les opérations forestières (exploitation, construction de routes, etc.) peuvent entraîner une perte accélérée d'éléments nutritifs par l'érosion.

Lima et O'Loughlin (sous presse) examinent les données existantes sur la qualité de l'eau s'écoulant de bassins versants renfermant des forêts naturelles d'eucalyptus, et concluent que cette qualité est généralement élevée. Elle dépend fortement des caractéristiques géologiques et édaphiques plutôt que du type de végétation. Dans un bassin versant caractérisé par des sols perméables la qualité de l'eau varie peu avec le débit; dans un bassin versant à sols plus imperméables, elle varie avec le débit, reflétant la proportion relative du débit de base et de l'écoulement superficiel. Il y a d'autre part un danger d'érosion en nappe dans des forêts sèches de médiocre qualité, avec des taches de sol nu. La composition de la forêt, toutefois, a parfois une influence sur la qualité de l'eau. C'est ainsi qu'une forêt d'Eucalyptus diversicolor, dont la litière épaisse est riche en bases totales, produit une eau de pH plus élevé qu'une forêt d'E. marginata et E. wandoo.

Le Tableau 6 donne des chiffres comparatifs d'apports et d'exportations avec différents types de forêts. Les chiffres sont peu homogènes. Considérant des chiffres comparatifs provenant d'autres régions du monde, les auteurs déclarent: "En règle générale, l'exportation d'éléments nutritifs excède les apports, mais le bilan varie d'un cation à un autre. La variation dans les apports est en relation avec la situation géographique du bassin versant. La variation dans les exportations reflète les caractéristiques du bassin versant et celles du couvert végétal. Pour un bassin versant donné, le bilan de certains éléments nutritifs varie également d'une année à l'autre. Par comparaison avec les données mondiales le bilan des éléments nutritifs dans des plantations d'eucalyptus fournis par le Tableau 6 montre un bilan favorable, qui traduit des conditions de stabilité engendrées par l'écosystème de forêt d'eucalyptus non perturbé."

Les effets des eucalyptus sur la qualité des sols - sans exploitation

Comme on l'a expliqué dans l'introduction, il faut s'attendre à voir les effets varier dans de grandes proportions en fonction du type de végétation dans lequel les plantations d'eucalyptus sont installées. Les eucalyptus peuvent parfois être utilisés pour remplacer une forêt primaire climacique (exemple: E. deglupta se substituant aux forêts de diptéro-carpacées à Mindanao dans les Philippines); ils peuvent être plantés en vue d'une production plus intensive

à la place d'une forêt indigène exploitée (exemple: substitution du sal, Shorea robusta, dans le nord de l'Inde); ils peuvent être utilisés pour reconstituer un couvert végétal sur des terres déboisées ou dégradées (comme dans les Andes péruviennes), ou encore être introduits dans des terres agricoles. Toutes ces circonstances sont différentes. Si on y ajoute la gamme de conditions climatiques, de types de sols et d'espèces d'eucalyptus possibles, on aura d'innombrables réponses à la simple question suivante: quel effet ont les eucalyptus sur la fertilité du sol?

Si les plantations sont exploitées, la situation sera toute différente. Les effets de l'exploitation seront examinées séparément dans une autre section.

La FAO a, au cours des années cinquante et au début des années soixante, entrepris en collaboration avec l'IUFRO une étude dont les résultats sont présentés dans Anon. (1966) et dans Giulimondi (1959). Karschon (1961) passe en revue la littérature existante à cette date. Des recherches ont été menées en Italie, au Maroc et en Espagne, principalement sur des stations précédemment non boisées, sur les aspects suivants:

A. Extraction d'éléments minéraux du sol

Répartition des principaux éléments minéraux dans les différentes parties de l'arbre.

Immobilisation et extraction par le peuplement d'eucalyptus, en comparaison d'autres cultures faites dans les mêmes conditions.

B. Influence du peuplement d'eucalyptus sur les caractéristiques chimiques et physiques du sol

Accumulation et évolution de la litière.

Cycle des éléments minéraux.

Evolution de l'humus.

Influence sur la microflore.

Anon. (1966) donne une liste de toutes les publications auxquelles a donné lieu cette étude, et tire les conclusions suivantes:

"On peut affirmer que, même dans des sols qui sont relativement infertiles, la distribution d'éléments minéraux provenant des eucalyptus est faible (sic).

L'évolution de la litière conduit à un humus de type "mull" qui, même sur un sol sableux très perméable, ne donne naissance à aucun phénomène apparent de drainage par le bas ou d'acidification.

La flore microbiologique du sol ne semble pas être très influencée par le peuplement d'eucalyptus."

Des travaux ultérieurs se sont intéressés aux trois domaines suivants:

effets des eucalyptus sur des stations précédemment non boisées;

comparaison avec des forêts aménagées de sal (Shorea robusta) et avec des plantations de sal;

comparaison entre eucalyptus et plantations de pins.

Eucalyptus plantés sur stations précédemment non boisées

Les eucalyptus sont très largement utilisés pour le boisement de terrains nus, en raison de leur croissance généralement rapide et de leur aptitude à pousser sur des sols très pauvres, notamment déficients en phosphore. Outre leur rôle de production de bois, d'abri et d'ombrage, on les a utilisés pour lutter contre l'érosion, en admettant tout naturellement qu'un couvert d'arbres fournirait une meilleure protection que la végétation dégradée qu'il remplace. Un autre argument en faveur des eucalyptus est que leur feuillage n'est pas apprécié par le bétail, et qu'ils ont par conséquent davantage de chances de survivre là où les terres ont été dégradées par le surpâturage. Leurs effets écologiques dans de tels cas présentent donc un large intérêt.

Yadav et al. (1959) ont étudié une plantation d'Eucalyptus sp. âgée de 5 ans à Asorori dans l'Uttar Pradesh (Inde). Ils ont constaté un mouvement vers le bas de CaO et des particules fines du sol, un abaissement du pH, une diminution de MgO, de la potasse totale, de P_2O_5 et du phosphore assimilable, et une augmentation du potassium assimilable.

Liani (1959) a étudié un peuplement d'E. camaldulensis âgé de 25 ans sur un sol sableux calcaire près de Catane en Sicile. Il a constaté une accumulation d'humus acide, mais aucune preuve de mouvement du fer dans le profil. Le taux de matière organique était élevé (20,33 kg/m^2), supérieur à celui des autres stations plantées en eucalyptus qu'il avait étudiées précédemment (10,45 kg/m^2); un boisement de pins donnait 7,54 kg/m^2, une terre agricole 2,92 kg/m^2. Le taux de matière organique était maximum avec un sous-étage d'Acacia saligna, Robinia pseudoacacia et Phragmites.

Bernhard-Reversat (1982) a étudié en laboratoire la décomposition de la litière d'E. camaldulensis. Il a constaté qu'il y avait une abondante chute de litière mais que la proportion de matériel fin dans l'horizon superficiel était faible; la disparition et la minéralisation de la litière étaient relativement lentes, mais la minéralisation du carbone se poursuivait dans la vieille litière; la litière renfermait une proportion importante de substances hydrolysables, qui n'étaient retenues dans le sol que s'il contenait suffisamment d'argile, et il y avait réduction de la matière organique dans la fraction limono-argileuse du sol.

Acacia seyal se comportait différemment, avec une quantité bien supérieure d'humus subsistant. Melaleuca était comparable à Eucalyptus, et Azadirachta était intermédiaire.

A ce propos Mullette et al. (1974) rapportent que la croissance d'E. gummifera, espèce que l'on trouve dans des habitats de crêtes sur des sols très appauvris, répond de façon marquée aux phosphates insolubles. Ils suggèrent une interaction entre exsudats des racines, micro-organismes, ions aluminium et mécanismes d'absorption des racines pour expliquer l'aptitude de cet eucalyptus à utiliser ces substances.

Comparaison avec une forêt aménagée de sal (Shorea robusta) et avec une plantation de sal

Singhal et al. (1975) et Singhal (1984) exposent les résultats d'une comparaison menée sur 5 ans entre un recrû de taillis dans une forêt naturelle de sal et une plantation d'Eucalyptus sp. près de Dehra Dun. La quantité de matière organique accumulée sous les sal était beaucoup plus importante que sous les eucalyptus, mais l'humidification était plus rapide sous ces derniers; leur litière était plus facilement hydrolysable, et la matière humique pénétrait plus rapidement vers les couches profondes du sol. Les auteurs concluent que les eucalyptus ont un effet favorable sur la structure du sol, et par suite sur sa fertilité.

Jha et Pandé (1984) ont comparé une plantation d'E. camaldulensis (faite en 1967), une plantation de sal (faite en 1926) et une forêt naturelle de sal, toujours près de Dehra Dun, sur des alluvions anciennes. Ils concluent que:

Aucune des monocultures ne peut surpasser la forêt naturelle de sal en ce qui concerne l'accumulation de matière organique, le N et le P totaux et le N, le P et le K assimilables.

Une monoculture d'eucalyptus âgée de 14 ans présente une accumulation de matière organique supérieure à celle d'une monoculture de sal.

Le sol sous les eucalyptus a tendance à retenir davantage d'eau que la monoculture de sal.

Les eucalyptus entraînent une élévation du pH du sol, tandis que la monoculture de sal conduit à un abaissement du pH en comparaison d'une forêt naturelle de sal.

On constate dans la monoculture de sal des taux d'azote et de phosphore totaux faibles par rapport aux eucalyptus, mais une teneur supérieure en potassium total.

Les teneurs en azote et phosphore assimilables sont faibles sous la monoculture de sal par rapport aux eucalyptus, mais la teneur en potassium assimilable est élevée.

Une plantation d'eucalyptus en monoculture dans une zone de forêt naturelle de sal n'entraîne aucun dommage pour la fertilité du sol, et s'avère supérieure à une monoculture de sal de longue durée dans cette localité.

Comparaison avec les pins

Jamet (1975) a comparé des plantations d'eucalyptus et de pins (Eucalyptus camaldulensis, E. saligna, E. platyphylla et une espèce non nommée de pin) sur des sols sableux à Pointe Noire, dans la plaine littorale de la République populaire du Congo. Les plantations d'eucalyptus remontaient à 1953, et celles de pins étaient un peu plus récentes. La pluviométrie annuelle moyenne a été de 1 283 mm au cours des 14 années de mesure, mais avec des variations importantes entre 2 047 et 295 mm. Il y a une saison sèche marquée. La végétation est constituée par une savane basse.

Les sols sont légèrement acides, avec un faible taux d'argile, et sont pauvres en matière organique. Il y avait une meilleure humification sous les eucalyptus, une réduction du calcium et une faible acidification sous les eucalyptus comme sous les pins, mais en même temps il y avait, surtout sous les pins, une tendance à la podzolisation.

Eucalyptus plantés sur tourbière

Zohar (1976 et 1979) rend compte du développement d'Eucalyptus tereticornis et de son effet sur les teneurs en nitrates du sol sur une tourbière récemment asséchée dans la vallée de Hula en Israël. En raison du haut niveau de la nappe la croissance était exceptionnellement rapide: 12 m de hauteur et 18 cm de diamètre à 4 ans. On a constaté une teneur en nitrates nettement moins élevée dans la plantation d'eucalyptus que dans un terrain non boisé comparable. L'auteur suggère la culture intensive des eucalyptus comme un moyen de réduire l'eutrophisation dans le lac de Tibériade.

Conclusion

Les études réalisées au sujet de l'effet des eucalyptus non exploités sur la qualité du sol se limitent presque totalement à la zone méditerranéenne et à la zone subtropicale du nord de l'Inde, et ce n'est que dans ce dernier cas que des comparaisons ont été faites entre eucalyptus, forêt naturelle et plantations d'une essence indigène, le sal (Shorea robusta). Ces études ne couvrent par conséquent qu'un très petit secteur de la gamme de conditions dans lesquelles on cultive les eucalyptus. Les effets n'ont en outre été observés que sur une période relativement courte. D'une manière générale, on peut conclure que la plantation d'eucalyptus sur un terrain nu a pour effet d'améliorer la fertilité du sol en formant un humus de type mull, bien qu'il y ait des indices montrant que sur certains sols l'humus peut être légèrement acide. Les comparaisons avec le sal et avec les plantations de pins sont également en général favorables. Par comparaison avec une forêt claire à Brachystegia en Zambie, il y a diminution de l'activité des termites et formation d'une litière de

feuilles non décomposées (voir Chapitre IV ci-dessous). Il n'y a dans ces localités aucune preuve de détérioration du sol, et l'éventualité d'un dommage irréversible semble très lointaine. La suggestion d'utiliser les eucalyptus pour réduire l'eutrophisation, enfin, est intéressante.

Les effets des eucalyptus sur la qualité des sols - avec exploitation

Une situation très différente se présente si la forêt est exploitée. Une perte d'éléments nutritifs se produira certainement dans le matériel récolté, et elle sera vraisemblablement amplifiée par les effets des opérations de coupe. Dans l'aménagement des forêts naturelles on admet généralement, peut-être à tort dans certains cas, que la perte d'éléments nutritifs lors de la coupe sera compensée par de nouveaux apports naturels au cours de la révolution (matières dissoutes dans l'eau de pluie, altération des roches, azote fixé par les légumineuses, etc. cf. Fig.3 et 4). Mais avec l'intensification croissante des coupes, il est peu probable qu'il en reste ainsi.

La situation a été bien analysée par Raison et Crane (1981). Les paragraphes qui suivent sont inspirés de leur étude.

Le rendement de plantations équiennes exploitées à blanc avant maturité peut être considérablement supérieur à celui des forêts spontanées qui les ont précédées. La croissance plus rapide et l'enlèvement de la biomasse accroîtront la demande d'éléments nutritifs du sol, et une plus grande perturbation de la station peut accroître de façon marquée le risque de pertes associées de matière organique et d'éléments nutritifs de l'écosystème forestier.

Les conséquences d'un raccourcissement de la révolution pour la nutrition des arbres peuvent en gros être divisées en deux catégories:

a) effets directs sur le rythme de prélèvement d'éléments nutritifs de la station;

b) effets indirects associés à la coupe, à la préparation du terrain pour la replantation et au développement du nouveau peuplement.

Effets directs de l'enlèvement de la biomasse

La quantité d'éléments nutritifs et le rythme auquel ils sont directement exportés dans la biomasse dépendent de l'essence plantée, de la durée de la révolution et du degré d'utilisation de la biomasse.

L'accroissement de la demande de produits forestiers et les technologies nouvelles ont favorisé une utilisation plus poussée de la biomasse et un raccourcissement des révolutions. Parfois ces deux stratégies sont appliquées en même temps, conduisant à ce qu'on a appelé une "culture de fibres". L'utilisation accrue de la biomasse (par exemple récolte d'arbres entiers dans laquelle on enlève toute la biomasse aérienne, ou récolte de la biomasse totale dans

laquelle sont également incluses les souches et les racines) peut accroître jusqu'à 5 fois les quantités de certains éléments nutritifs exportées de la forêt. Le pourcentage d'accroissement entre exploitation classique et récolte d'arbres entiers est maximum lorsqu'on exploite de jeunes peuplements, dans lesquels une proportion relativement plus importante des éléments nutritifs de la biomasse aérienne est emmagasinée dans les houppiers. Le raccourcissement de la révolution accroît d'autre part le rythme auquel les eléments nutritifs sont exportés dans la biomasse récoltée, parce qu'au cours d'une période donnée on enlève une plus grande quantité de matériel végétal. Lorsqu'on accroît le degré d'utilisation de la biomasse et qu'on réduit la durée de la révolution, on diminue le rendement nutritionnel (et on accroît les coûts nutritionnels) par comparaison avec un aménagement plus traditionnel, comportant par exemple une exploitation limitée au bois de fût et une révolution plus longue.

Effets indirects de l'exploitation

Une révolution plus courte accroît la fréquence des perturbations apportées à la station du fait de la coupe et de la préparation du terrain pour la replantation. La durée relative des périodes où le terrain n'est pas entièrement occupé par un couvert forestier fermé (qui assure une certaine protection du sol) s'accroît également. Ces perturbations entraînent soit une perte directe d'éléments nutritifs, soit un risque accru de perte. L'importance relative des exportations d'éléments nutritifs dans la biomasse et des pertes liées à la perturbation de la station sont éminemment variables, mais les dernières peuvent parfois être supérieures aux premières. Elles peuvent être causées par le lessivage, l'érosion, le passage dans l'atmosphère, la redistribution indésirable des éléments nutritifs et le tassement du sol.

L'importance de l'érosion sur un sol boisé est difficile à mesurer, de même que ses conséquences pour la productivité future. Il est certain qu'une érosion accélérée est indésirable, parce que c'est la partie la plus riche en éléments nutritifs et la mieux structurée du sol qui est enlevée. Le décapage de 1 cm de sol superficiel peut équivaloir à l'exportation de 24 kg de P et 240 kg de N par hectare. Même une érosion modérée au cours de la révolution peut entraîner des pertes d'éléments nutritifs du même ordre de grandeur que celles qui résultent de la récolte de la biomasse.

La perturbation du sol et de la couverture morte lors de l'exploitation entraîne souvent un lessivage accru des ions nutritifs. Des facteurs tels que l'enlèvement de la végétation, l'exposition plus grande du sol et les taux accrus de respiration qui l'accompagnent interviennent. Les pertes par lessivage après coupe à blanc et travail du sol sont extrêmement variables, mais elles sont généralement maxima pour N et pour les cations. Une coupe à blanc commerciale peut entraîner des pertes de Ca et N s'élevant à 30-50 pour cent ou plus des quantités exportées par une récolte traditionnelle de biomasse. Normalement, toutefois, elles sont inférieures. Les effets du raccourcissement de la révolution sur les taux de lessivage n'ont pas été rapportés, mais on peut s'attendre à une augmentation des taux moyens à long terme en raison de la fréquence plus

grande des perturbations de la station et de la proportion accrue du temps pendant lequel le terrain n'est pas entièrement occupé par une végétation active. Un lessivage accru aggrave encore les prélèvements plus importants d'éléments nutritifs résultant des récoltes plus fréquentes de biomasse riche en ces éléments, avec des révolutions plus courtes.

Le brûlage des rémanents après la coupe entraîne une certaine perte directe d'éléments nutritifs, et il peut y avoir en outre des pertes lors de la combustion, notamment d'éléments volatils, à partir de la litière feuillue et de l'horizon superficiel enrichi en matière organique, ainsi qu'une perte ultérieure d'éléments mobilisés dans le sol par le feu. Les pertes d'éléments, notamment N, P et S, résultant du brûlage peuvent être égales ou supérieures aux quantités exportées dans la biomasse récoltée. Cependant, bien qu'une utilisation plus complète de la biomasse accroisse directement l'exportation d'éléments nutritifs, elle peut supprimer la nécessité d'éliminer les rémanents par brûlage, et par suite empêcher des pertes importantes d'éléments - notamment N - à partir de la litière et des horizons superficiels.

Une respiration accrue du sol, à la suite de son exposition au moment de la coupe, peut aussi entraîner une perte de matière organique. On a mis en évidence, dans des plantations de Pinus radiata d'Australie, une diminution de la matière organique du sol atteignant 60 pour cent, en même temps qu'un élargissement des rapports C/N (Raison et Crane, 1981). Une telle perte de matière organique risque d'avoir des conséquences sérieuses sur la nutrition des arbres, étant donné que la matière organique du sol est étroitement liée à la plupart des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques qui déterminent sa fertilité.

L'andainage des rémanents, qui est souvent pratiqué lors de la préparation du sol en vue du reboisement, peut entraîner un décapage du sol en surface, avec des effets nuisibles sur la nutrition et la croissance ultérieure des arbres. Le degré et la gravité du bouleversement et du tassement du sol causés par la circulation des machines lors de la coupe et de la préparation du terrain sont très variables. Ils dépendent dans une large mesure du type de sol, mais sur tous les types de sols une révolution plus courte accroît le risque de pertes dues à ces causes.

En examinant les effets écologiques des plantations d'eucalyptus et de leur exploitation, on doit chercher à faire une distinction entre les effets qui seraient associés à une exploitation comparable de n'importe quelle autre essence de reboisement, et ceux qui sont propres aux eucalyptus. Les effets indirects mentionnés ci-dessus, par exemple, s'associeraient tout aussi bien à d'autres essences de reboisement.

Nature des données disponibles

On peut diviser les ouvrages sur ce sujet en trois catégories:

a) les études qui fournissent des données sur la biomasse et les teneurs en éléments nutritifs des différentes composantes de la production récoltée (feuilles, rameaux, écorce, racines, etc.);

b) celles qui comparent la teneur en éléments nutritifs de la biomasse récoltée avec les réserves du sol;

c) celles qui évaluent le coût en éléments nutritifs de l'exploitation, et les conséquences de l'emploi de différentes essences et différents régimes d'aménagement.

Cette dernière catégorie est la plus importante, notamment lorsque les auteurs étudient la consommation relative d'éléments nutritifs des eucalyptus et des autres essences possibles. Les documents qui entrent dans la première catégorie sont mentionnés dans la bibliographie, mais ne sont pas examinés dans la discussion qui suit.

Comparaison entre exportation d'éléments nutritifs et réserves du sol

Andrae et Krapfenbauer (1979) présentent une étude de la biomasse et des éléments nutritifs dans un peuplement d'Eucalyptus saligna âgé de 4 ans, dans l'Etat de Rio Grande do Sul (Brésil). Le climat est subtropical, avec un été chaud et humide et un hiver froid et humide; la végétation naturelle est la pampa herbeuse. Les sols sont pauvres, avec un horizon d'accumulation d'argile. L'étude portait sur 12 arbres représentatifs de 4 à 14 cm de diamètre.

La biomasse totale du peuplement était de 56 t/ha, dont 38 t (69 pour cent) de biomasse aérienne, 10 t (17 pour cent) de biomasse souterraine, et 8 t (14 pour cent) de biomasse de la litière et de la couverture morte. La production annuelle de biomasse est estimée entre 14,7 et 17,1 t/ha, la différence entre ces estimations étant fonction des hypothèses faites sur la durée de vie des feuilles persistantes.

Les quantités d'éléments nutritifs contenues dans les diverses composantes du système sont indiquées dans le tableau 8. On peut y voir que même le bois à lui seul renferme une proportion élevée du phosphore et du potassium du système. Dans le bas du tableau figurent des chiffres montrant la relation entre les éléments nutritifs contenus dans la litière et le sol d'une part, la biomasse d'autre part. Des chiffres comparables sont donnés pour un peuplement d'Araucaria augustifolia âgé de 17 ans; on peut voir que la situation en ce qui concerne tous les éléments est encore plus critique dans le cas de l'Araucaria qu'elle ne l'est pour E. saligna.

Tableau 8

Eucalyptus saligna (données en kg/ha)

			N	P	K	Ca	Mg
	A	Sol 0-25 cm	4508	13.5	225	195	279
	B	Sol 0-75 cm	11522	29.9	635	3240	835
	C	Litière	63	2.7	20	100	15
	D	Restitution par feuilles mortes (par an)	41-61	24-35	40-60	43-64	11-17
	E	Arbres et végétation de sous-bois	230	30.4	221	251	52
		F Bois	20.84	12.21	41.89	16.59	6.10
		G Ecorce	13.18	2.35	25.95	56.60	12.99
		H Branches	29.60	3.39	44.95	69.36	7.33
		I Feuilles	107.66	6.94	61.06	64.23	16.64
	K	Arbres (F+G+H+I)	171.28	24.89	173.15	206.78	43.06
E. saligna		Biomasse de la litière et du sol (0-25 cm) A + C	19.87	0.53	1.11	3.96	5.65
Araucaria angustifolia		" " "	11.17	0.31	0.43	1.9	1.5

Source: Andrae et Krapfenbauer (1979)

Wise et Pitman (1981) ont également comparé les quantités d'éléments nutritifs susceptibles d'être exportées par la coupe de plantations typiques de 10 ans de diverses espèces d'eucalyptus (Eucalyptus grandis, E. laevopinea, E. maculata, E. saligna, E. sieberi, E. viminalis), d'une part, et les réserves d'éléments nutritifs dans un certain nombre de sols typiques de Nouvelle-Galles du Sud et du Queensland d'autre part.

Les auteurs considèrent que les principaux éléments limitants sont le phosphore, le soufre et peut-être le calcium. Les comparaisons entre exportation d'éléments nutritifs et état des réserves du sol donnent une indication de "l'ordre de grandeur des exportations par rapport aux réserves d'éléments nutritifs disponibles dans le sol. Il apparaît que le calcium et le potassium seront sans doute les premiers éléments à devenir limitants sur de nombreuses stations dans le cas d'une succession de plantations à courte révolution". Les auteurs présentent des estimations des quantités d'éléments nutritifs qui sont vraisemblablement ajoutées dans le système par l'altération du granit et les apports dans l'eau de pluie; elles sont données dans le tableau 5. Ils ajoutent que "les apports naturels peuvent sur de nombreuses stations littorales remplacer rapidement le sodium et le chlore, et peut-être le magnésium. Le potassium peut être partiellement remplacé mais le calcium, le phosphore et l'azote ne sont pas fournis par les apports naturels en quantités suffisantes pour compenser les exportations, et en outre les exportations naturelles appauvriront encore plus le système en ces éléments".

Les auteurs font ensuite une comparaison entre les exportations d'éléments nutritifs pour des plantations à courte révolution, dans le cas d'une forêt indigène moyenne avec un prélèvement annuel de 2 m^3/ha (une forêt très productive de Nouvelle-Galles du Sud donnerait environ 5 m^3), et d'une culture de céréales. Leurs calculs les amènent à la conclusion que l'exportation d'éléments nutritifs par les coupes de bois de sciage dans une forêt naturelle serait en moyenne de moins de 5 pour cent de celle résultant de l'utilisation d'arbres entiers dans des plantations à courte révolution, ce qui est dû au maintien en forêt des feuilles, des branches et de l'écorce, à une proportion plus élevée de bois de coeur, et à un plus faible rendement à l'hectare. La comparaison avec une culture de céréales sur une période de 10 ans (une année de jachère tous les 4 ans) est encore plus frappante. Les exportations d'azote sont 2 à 4 fois plus élevées que dans les plantations d'eucalyptus, et celles de phosphore 10 à 20 fois plus élevées.

Raison et Crane (1982) font une comparaison très instructive entre plantations d'Eucalyptus delegatensis et de Pinus radiata. Leurs conclusions sont reproduites in extenso ci-dessous.

> Il peut y avoir une interaction marquée entre le type d'essence et la durée de la révolution, qui influera sur l'importance des exportations d'éléments nutritifs et sur le rendement nutritionnel. Une étude de la répartition de la biomasse et du phosphore dans les fûts (bois + écorce) de deux essences commercialement importantes d'Australie, Eucalyptus delegatensis et Pinus radiata, a conduit aux conclusions suivantes:

a) On a trouvé une concentration de P nettement plus élevée dans l'aubier que dans le bois de coeur pour les deux essences, surtout chez E. delegatensis dont l'aubier renferme 33 fois plus de P que le bois de coeur, tandis que chez P. radiata le rapport était de 9:1.

b) La proportion d'aubier est nettement plus élevée pour P. radiata, chez lequel la formation de bois de coeur ne commence qu'à l'âge de 17 ans, alors qu'elle débute à 7 ans chez E. delegatensis.

c) Une croissance plus rapide associée à une concentration plus élevée de P dans les fûts (conséquence de (a) et (b) ci-dessus) a pour résultat une exportation plus importante de P par les coupes pour P. radiata que pour E. delegatensis. Ces données sont présentées dans le tableau 9.

d) Indépendamment de la rapidité de croissance, le raccourcissement la révolution accroît l'exportation de P par unité de bois récoltée. Le tableau 9 montre qu'elle s'est accrue de 70 pour cent lorsque l'âge d'exploitation d'E. delegatensis a été ramené de 57 à 18 ans. Les éclaircies précoces (qui sont une forme d'exploitation à courte révolution) entraînent une perte importante d'éléments nutritifs dans la forêt d'E. radiata.

e) Théoriquement, E. delegatensis n'aura un rendement nutritionnel sensiblement plus élevé que P. radiata que si on l'exploite à révolution de plus de 7 ans; son rendement relatif s'accroît progressivement avec l'âge.

Cette dernière observation nous a amenés à conclure que, pour les révolutions de 7 ans ou moins actuellement appliquées dans les plantations d'eucalyptus du Brésil, les eucalyptus pourraient ne pas avoir d'avantage nutritionnel (sous la forme de réduction de l'exportation de P dans la biomasse) sur les autres essences ... Les eucalyptus montrant une croissance très rapide (40-80 m^3/ha/an) hors d'Australie, et exploités à courte révolution ($<$ 10 ans) prélèvent des quantités importantes d'éléments nutritifs sur les réserves du sol (par exemple 5 kg/ha/an de P emmagasinés dans le bois), comparables à celles prélevées par les cultures agricoles annuelles (par exemple 7 kg/ha/an de P pour le maïs). La récolte de feuillage en plus du bois accroîtra encore l'exportation d'éléments nutritifs, et il est très vraisemblable que des apports réguliers d'engrais (du même ordre que pour les cultures agricoles) seront nécessaires pour maintenir la fertilité du sol et la productivité de la forêt.

Il ne semble donc pas y avoir un avantage inhérent démontré (ou un désavantage) à employer les eucalyptus plutôt que d'autres essences, mais il faut examiner leurs mérites respectifs dans chaque situation particulière.

Tableau 9

Exportation de phosphore par l'exploitation à courte et longue révolution de peuplements d'*Eucalyptus delegatensis* et *Pinus radiata*

Paramètre	Eucalyptus (E. delegatensis)		Pins (P. radiata)	
Age d'exploitation (ans)	18	57	18	40 1/
Proportion d'aubier dans le bois de fût (%)	52	28	100	90
P exporté (kg/ha)				
dans le bois de fût	9	17	28	56
dans l'écorce	4	8	18	24
total fûts	13	25	46	80
Taux d'exportation de P dans les fûts				
par tonne de bois (g P/t)	97	51	258	169
par unité de temps (kg P/ha/an)	0,73	0,44	2,53	1,97
Comparaison courte révolution/longue révolution				
par tonne de bois	1,7	1	1,5	1
par unité de temps	1,6	1	1,3	1

1/ Inclut 4 éclaircies marchandes à 16, 22, 28 et 34 ans avant la coupe définitive à 40 ans.

(D'après Crane et Raison, 1981)

Coûts en éléments nutritifs et conclusions

Madgewick et al. (1981) font une comparaison entre deux eucalyptus (Eucalyptus nitens et E. fastigata) et P. radiata dans l'île du Nord de la Nouvelle-Zélande. Cette comparaison porte sur des eucalyptus de 4 ans et des pins à l'âge où ils atteignent leur accroissement moyen annuel maximum, soit 17 ans. Les auteurs ont calculé pour chaque essence le coût en éléments nutritifs, c'est-à-dire la quantité d'éléments exportée par unité d'énergie récoltée. Ces coûts sont présentés dans le tableau 10. On peut voir que pour le phosphore ils sont approximativement les mêmes dans tous les cas, mais que les coûts en azote pour E. fastigata exploité à 4 ans sont près de quatre fois plus élevés que ceux de P. radiata plus âgé. En laissant le feuillage en forêt, on diminuerait les coûts en éléments nutritifs d'environ 10 pour cent pour le calcium, et de près de 50 pour cent pour l'azote.

Les auteurs concluent: "Les coûts en éléments nutritifs de l'énergie tirée de la biomasse sont très sensibles à l'âge du peuplement dans les jeunes peuplements où les proportions relatives de feuillage par rapport au bois et de jeune bois par rapport au vieux bois changent rapidement. Toute comparaison entre Eucalyptus et Pinus radiata doit être traitée avec prudence jusqu'à ce qu'on en sache plus sur les régimes sylvicoles optimaux à appliquer aux différentes essences et sur leurs rendements relatifs en combustible liquide."

Directives

Raison et Crane (1982) suggèrent deux conséquences de leurs travaux qui sont importantes pour notre étude:

a) Le maintien de la matière organique est un facteur décisif pour de nombreux sols australiens (on pourrait sans doute généraliser cette proposition hors d'Australie).

b) Les exportations d'éléments nutritifs ne doivent pas être comparées avec les réserves totales du sol pour servir de base d'évaluation de l'incidence de l'exploitation.

En règle générale, les apports d'éléments nutritifs doivent viser à maintenir (ou améliorer) la capacité du sol de fournir ces éléments aux plantes. Par conséquent, il faut généralement apporter plus d'éléments nutritifs qu'il n'en est exporté dans la biomasse, en raison du faible rendement de la réabsorption des éléments (sous forme d'engrais) par les arbres.

Tableau 10

Accroissements annuels moyens et coûts en éléments nutritifs de l'énergie produite

	Pinus radiata		*E. nitens*		*E. fastigata*	
	Fût	Total branches	Fût	Total branches	Fût	Total branches
Age (ans)	17	17	4	4	4	4
Accroissement annuel moyen (t/ha de poids anhydre)	18	17	18	20	13	15
Energie produite (10^8 J/ha/an)	202	305	326	377	238	268
Coûts en éléments nutritifs par 10^6 J						
N (kg)	46	74	122	220	135	268
P (kg)	11	14	10	15	9	17
K (kg)	65	80	172	203	157	207
Ca (kg)	50	55	200	220	170	206
Mg (kg)	16	17	35	42	37	51

Source: Madgwick *et al* (1981).

Ces auteurs proposent les stratégies suivantes:

Laisser sur place la biomasse riche en éléments nutritifs; ne pas récolter les parties souterraines des arbres sur la plupart des stations; écorcer les troncs, et laisser l'écorce sur place chaque fois que c'est possible.

Employer des méthodes de préparation du terrain qui réduisent au minimum la perturbation et les pertes d'éléments minéraux et de matière organique des rémanents, de la litière et du sol superficiel.

Employer efficacement les engrais.

Utiliser éventuellement des légumineuses (soit en culture intercalaire soit en jachère cultivée entre deux révolutions successives) pour aider à maintenir la matière organique du sol et préserver l'économie de l'azote.

Utiliser un matériel de reproduction sélectionné en vue d'une faible exigence en éléments nutritifs.

CHAPITRE IV

CONCURRENCE ET SUBSTITUTION

Introduction

Cette section traite des répercussions sur la végétation et la faune de l'introduction de plantations d'eucalyptus dans une zone où ils n'étaient pas présents jusque-là. On peut en gros distinguer deux sortes d'effets: concurrence et substitution.

Effets de concurrence

La plantation d'eucalyptus dans une zone de végétation naturelle ou semi-naturelle a des effets sur la faune et la flore de cette zone, effets qui peuvent être dus à l'ombrage, à la concurrence pour les éléments nutritifs ou pour l'eau, à la perturbation de la station, à un phénomène d'allélopathie (influence chimique directe des eucalyptus sur d'autres plantes), et aux effets cumulatifs de tous les changements intervenus dans le sol.

La faune sera également concernée. Les plantations d'eucalyptus offrent un habitat entièrement nouveau, en modifiant la flore de sous-bois et la structure de la végétation et, ce qui est le plus important, en substituant aux essences dominantes de la communauté une essence exotique. Les exotiques entretiennent généralement une communauté d'animaux herbivores moins riche que les essences qu'ils remplacent - c'est d'ailleurs l'une des raisons de leur succès -, et en conséquence ils contribuent moins que les essences indigènes à la chaîne alimentaire animale.

Il convient de souligner, toutefois, que l'effet de toute plantation dépendra de la nature de la communauté qu'elle remplace, et des caractéristiques écologiques de la région. Par exemple, dans une région aride, les eucalyptus pourront éliminer la végétation de sous-bois en la concurrençant vis-à-vis de l'eau, mais il y a peu de chance qu'il en soit ainsi dans une région de forte pluviométrie.

Toutes les plantations tendent à avoir des effets sur la flore et la faune. Elles créent l'uniformité - une essence dominante, formant de vastes peuplements réguliers souvent divisés en parcelles identiques (certains peuplements naturels, certes, se composent d'une seule essence et sont d'âge uniforme, mais cela est exceptionnel). Il n'y a pas d'arbres surâgés et morts - habitat important pour de nombreux animaux. Les plantations favorisent une flore qui a une biomasse moindre et qui est plus pauvre en espèces que celle que l'on trouve dans la forêt naturelle. Mais naturellement, si elles remplacent une prairie surpâturée, la végétation peut aussi devenir plus luxuriante qu'elle n'était auparavant, au moins dans les années qui suivent la plantation. Les effets appauvrissants des

grandes monocultures uniformes peuvent aussi être compensés par l'aménagement - défrichements raisonnés, laissant en place des arbres surâgés, petits bouquets d'arbres indigènes, etc. Les plantations forestières, d'autre part, sont rarement constituées par un seul clone, comme c'est souvent le cas des cultures agricoles.

En règle générale, cependant, les plantations d'essences exotiques sont plus pauvres en espèces et renferment une flore différente de celle de la forêt naturelle qu'elles remplacent. Lorsqu'elles prennent la place de communautés non forestières, elles créent une ambiance forestière, ce qui peut être une bonne chose, mais il est peu probable que cela favorisera les espèces caractéristiques de l'état non boisé antérieur.

Une telle substitution massive est évidemment courante dans le cas de cultures agricoles. L'effet des monocultures arborescentes (qu'il s'agisse d'hévéas, de palmiers à huile, de teck, de Gmelina, de pins ou d'eucalyptus) sera probablement moins accusé que celui de cultures de coton ou de maïs, par exemple, parce que ces arbres sont plantés dans la végétation naturelle sans la remplacer totalement comme le ferait une culture annuelle et, en outre, ils restent en place plus longtemps.

Dans cette question de la concurrence, il y a peu de faits qui concernent spécialement les cultures arborescentes, mais il y a certains principes écologiques généraux qui sont bien connus et qui peuvent s'appliquer. Chaque cas doit être examiné selon ses caractéristiques propres.

Effets de substitution

Le problème de la concurrence nous amène à celui de la substitution.

Lorsqu'on installe une plantation d'eucalyptus, elle remplace un écosystème par un autre qui est dans une large mesure différent. L'implantation et l'étendue des plantations d'eucalyptus doivent par conséquent être attentivement confrontées avec l'ensemble des avantages que procurent les écosystèmes qu'elles doivent remplacer. Outre les avantages sociaux, économiques et écologiques apportés à l'échelle locale par ces écosystèmes, il faut prêter attention à la place qu'ils doivent occuper dans toute politique nationale concernant la conservation de la faune sauvage et des ressources génétiques de la flore et de la faune indigènes. Si, par exemple, les plantations d'eucalyptus éliminent le dernier témoin d'un type de forêt que l'on ne trouve nulle part ailleurs, leur effet sera tout différent de celui résultant de leur substitution à 10 pour cent d'un type de forêt plus répandu. L'impact écologique du remplacement d'écosystèmes naturels par des plantations d'eucalyptus ne peut être évalué que si l'on connaît l'étendue de chaque type d'écosystème naturel. Les décisions concernant l'opportunité d'une telle substitution ne peuvent être prises qu'au regard d'une politique nationale de conservation de la nature et des ressources génétiques.

Eucalyptus et sous-bois

Les études comparatives dont on dispose proviennent de l'Inde (Mathur et al., 1980; Mathur et Soni, 1983; Rajvanshi et al., 1983) et du Malawi (Jocqué, 1977). Les études indiennes concernent des comparaisons entre divers eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis, E. grandis et E. hybride) et une forêt de sal (Shorea robusta) près de Dehra Dun dans le nord de l'Inde, et l'étude du Malawi compare une plantation de 4 hectares d'E. grandis âgée de 6 ans, de 15 m de hauteur, et une forêt claire voisine de hauteur comparable, à Brachystegia spiciformis dominant, dans la partie la plus humide du pays avec une pluviométrie annuelle de 1 500 à plus de 2 000 mm.

Mathur et al. (1980) comparent des plantations d'E. camaldulensis et E. grandis avec une forêt de sal et une brousse secondaire formée après la coupe de la forêt de sal et âgée de 14 ans (la forêt de sal représente souvent une quasi-monoculture). Le nombre d'espèces de même que la densité du couvert étaient maxima dans les plantations d'eucalyptus, et minima dans la forêt de sal. Il en était de même de la quantité de litière, de la phytomasse aérienne et de la phytomasse souterraine - en excluant les arbres pour ces deux dernières. La proportion des transects linéaires effectués se trouvant sous le couvert des cimes (ce qui constitue une mesure de l'ombrage) était de 74,7 pour cent pour les eucalyptus, 53,79 pour cent pour la brousse secondaire et 36,29 pour cent pour le sal; la proportion de végétation basse était de 3,98 pour cent. Bien que ces résultats semblent indiquer une végétation meilleure et plus riche sous les eucalyptus, ils sont faussés par le fait que les eucalyptus et le recrû secondaire étaient protégés contre le pâturage, ce qui n'était pas le cas de la forêt de sal.

D'autres comparaisons entre sal et eucalyptus (Mathur et Soni, 1983; Rajvasti, 1983) ont amené à des conclusions analogues. La forêt de sal, cependant, renferme une proportion plus grande d'arbustes et moins d'espèces annuelles; Ageratum conyzoides, adventice annuelle largement répandue, est l'espèce la plus commune sous les eucalyptus.

Le peuplement d'eucalyptus étudié au Malawi avait un couvert très clair. Le sous-bois forme des taches consistant soit en un étage arbustif dense de jeunes arbres indigènes avec des arbustes proprement dits, soit en un étage herbacé de graminées dominé par Panicum spp. Il y a encore une forte influence de la flore de forêt claire naturelle dans la plantation, où l'on retrouve 45 pour cent des espèces de la forêt claire à Brachystegia. Les espèces herbacées sciaphiles de la forêt claire originelle sont moins bien représentées (30 pour cent) que les espèces arbustives et lianescentes (47 pour cent) et les arbres (57 pour cent). Les mousses et épiphytes, communs dans le peuplement naturel, ont quasiment disparu. Les plantes les plus spécialisées sont remplacées par des adventices tolérantes. La litière est plus épaisse, et composée principalement de feuilles d'eucalyptus intactes.

Toutes ces observations se situent dans des zones qui pourraient porter une forêt tropicale humide. Aucune information n'a été publiée concernant des régions arides ou semi-arides.

[L'auteur a vu dans l'île de Mindanao aux Philippines des plantations d'Eucalyptus deglupta remplaçant une forêt mélangée à diptérocarpacées. La flore arborescente et arbustive de la forêt naturelle avait été entièrement remplacée, de même que la végétation basse, qui, dans ce cas, consiste principalement en régénération des nombreuses essences arborescentes caractéristiques de la forêt. Par contre des plantations âgées d'eucalyptus dans la zone tempérée humide près de Sintra au Portugal renferment une végétation basse dense d'espèces de la flore indigène].

Eucalyptus et cultures agricoles voisines

Certains des effets des rideaux-abris ont déjà été examinés dans les Chapitres I et II ci-dessus, et mention a été faite de l'étude de Jensen (1983). Les relations mutuelles entre rideaux-abris et cultures agricoles sont complexes, et ne sont pas particulières aux eucalyptus; elles sont tout aussi bien le fait d'autres essences utilisées dans ce but. Elles peuvent concerner l'abri contre les vents de sable et les vents desséchants, un accroissement des températures, et une réduction de la transpiration, mais également la concurrence pour l'eau et les éléments nutritifs. Les effets exacts dépendent dans une large mesure des circonstances, et ils ne sont pas tous parfaitement connus. Il n'y a cependant aucune preuve convaincante que les effets des eucalyptus soient différents de ceux des autres essences, mais il faut reconnaître qu'aucune expérimentation n'a été entreprise dans le but de démontrer de telles différences. Les exemples qui suivent montrent les types d'effets qui ont été rapportés.

Giulimondi (1960, 1961) et Giulimondi et Giovannini (1960) ont étudié l'effet de rideaux-abris d'Eucalyptus x trabutii âgés de 25 ans près de Rome et d'E. camaldulensis âgés de 30 ans près de Catane en Sicile, les premiers situés sur sol limono-argileux et les seconds sur sol sableux. La pluviométrie à Catane est faible, de l'ordre de 500 mm par an. Les auteurs ont constaté un dessèchement marqué du sol au cours des mois d'été, jusqu'à 10-15 m du rideau-abri dans les sols lourds, 20-25 m dans les sols sableux. Les rendements en luzerne étaient diminués en conséquence. En revanche, l'installation et la croissance de la luzerne étaient favorisées dans une bande de 5 à 8 mètres à partir des arbres après un hiver particulièrement pluvieux.

Des bandes boisées d'Eucalyptus microtheca de 60 m de large se sont avérées efficaces pour protéger des zones irriguées contre l'envahissement par le sable du désert dans la Gezira au Soudan; des résultats analogues ont été obtenus avec Prosopis chilensis et Acacia mellifera. Le rendement des orangers a été sensiblement accru en Californie jusqu'à une distance égale à cinq fois la hauteur de rideaux d'E. globulus. En revanche, les rendements de cultures non irriguées de Vigna unguiculata protégées par des E. camaldulensis de 10 m de hauteur, au nord de Kano (Nigéria), n'étaient que de 35 pour cent de ceux de cultures en terrain découvert (Données citées par Jensen, 1983).

Effets allélopathiques

On a émis l'hypothèse que certaines espèces d'eucalyptus produiraient par leurs feuilles ou leur litière des substances chimiques qui inhiberaient la germination ou la croissance d'autres espèces végétales. Ce phénomène est désigné sous le nom d'allélopathie ou amensalisme. C'est en effet tout à fait différent de la concurrence directe pour l'eau, les éléments minéraux ou la lumière.

Dans la Hunter Valley en Nouvelles-Galles du Sud, Story (1967) a détecté, sous des arbres de différentes essences, des taches circulaires où l'herbe était plus clairsemée. Les essences en cause étaient Acacia pendula, Callitris calcarata, Casuarina luehmannii, Eucalyptus crebra, E. dawsonii, E. melliodora, E. moluccana, Notelaea microcarpa. Après une étude minutieuse il établit que la concurrence pour l'eau n'en était pas la cause, et que la concurrence pour les éléments nutritifs semblait improbable. Il conclut que des exsudats chimiques étaient probablement responsables du phénomène.

Depuis cette date des travaux expérimentaux ont montré que certaines espèces d'eucalyptus ont bien un effet d'inhibition sur la végétation associée. MacLaren (1983) passe en revue ces travaux; l'exposé ci-après est basé sur son article.

Del Moral et Muller (1970) ont noté qu'Eucalyptus camaldulensis inhibait certaines graminées fourragères améliorées telles que Bromus mollis et Lolium multiflorum. Il y avait plus de végétation sous des chênes, avec 45 pour cent d'éclairement, que sous les eucalyptus avec 64 pour cent d'éclairement; l'humidité du sol couvert de litière était supérieure à celle des zones découvertes voisines. Al-Mousawi et Al-Naïb (1975) ont constaté dans des plantations d'E. microtheca du centre de l'Iraq une faible densité de plantes herbacées qui n'était pas due à une question d'humidité, d'éléments nutritifs ou d'ombrage, mais à une inhibition de la germination et de la croissance des espèces associées par des extraits de feuilles, par les feuilles en décomposition et par le sol. Les substances volatiles inhibitrices décelées étaient les mêmes que celles identifiées par Del Moral et Muller (1969) pour E. globulus. Ces derniers auteurs découvrirent que l'absence de végétation sous E. globulus ne pouvait être attribuée à la concurrence pour les facteurs vitaux essentiels, mais semblait être due à des phytotoxines contenues dans les gouttelettes de condensation de brouillard. Ils firent des essais sur un certain nombre de graminées annuelles avec la solution s'écoulant à travers les cimes des eucalyptus. Deux d'entre elles, Bromus mollis et Lolium multiflorum, étaient très sensibles, les autres moins.

Ce phénomène, qui n'est pas limité aux eucalyptus, peut être un facteur de dissuasion important lorsqu'on choisit des essences de reboisement en vue de la lutte contre l'érosion, ou dans le cas où le pâturage sous le couvert des arbres est important.

Eucalyptus et animaux

Diverses études ont été publiées sur des aspects de cette question en Australie, au Brésil, au Malawi et en Amérique du Sud. Elles portent sur deux sortes de comparaisons différentes: entre essences indigènes et exotiques, et entre forêts naturelles et plantations. Le tableau 11 montre comment se répartissent ces différentes études.

Comparaison entre forêt naturelle (non composée d'eucalyptus) et plantations d'Eucalyptus et Araucaria

Trois études traitent de ce sujet. Dietz et al. (1975) comparent deux surfaces de forêt naturelle mélangée avec une plantation d'Eucalyptus saligna âgée de 10 ans et une plantation d'Araucaria angustifolia, essence indigène du Brésil, âgée de 31 ans. Les deux surfaces de forêt naturelle étaient à l'origine une forêt tropicale humide sempervirente, et étaient en voie de reconstitution après avoir été totalement dévastées l'une 15 ans et l'autre 52 ans auparavant. Les populations de petits mammifères furent échantillonnées par piégeage dans les quatre forêts. Elles comportaient cinq espèces de mammifères: Oryzomys nigripes, Monodelphis americana, Marmosa sp., Akodon arviculoides, et Blarinomys breviceps. Les densités relatives les plus fortes de petits mammifères furent trouvées dans la plantation d'Araucaria, les plus faibles dans la plantation d'eucalyptus. Dans les deux forêts naturelles, les densités étaient statistiquement identiques, et se situaient entre celles des deux plantations. La diversité d'espèces capturées était maximale dans les forêts naturelles, et minimale dans les plantations homogènes.

Jacques (1977) dans son étude sur des forêts du Malawi évoquée ci-dessus dans la section "Eucalyptus et sous-bois", compare la densité des toiles et le poids des individus de la grande araignée Nephila sp. sur 11 placettes de 7 x 7 m délimitées dans une plantation d'eucalyptus et une forêt claire à Brachystegia. La densité de toiles et le poids moyen des araignées étaient nettement plus élevés dans cette dernière: 950: 200 toiles d'araignée par hectare, et 958: 770 mg de poids. L'auteur conclut que cette différence est due à une insuffisance de nourriture dans la plantation, et suppose que l'araignée disparaîtrait dans de grandes plantations pures d'eucalyptus. L'activité des termites était également plus faible dans la plantation.

Steyn (1977) a fait une comparaison qualitative des populations d'oiseaux entre plantations d'eucalyptus (principalement d'E. grandis), qui couvrent plus de 25 000 hectares dans le nord-est du Transvaal, et végétation naturelle de "lowveld", du type "Lowveld Sour Bushveld", comportant des arbres et arbustes en galeries le long des cours d'eau. Il a montré comment les effectifs et le comportement de certaines espèces s'étaient modifiés dans les zones reboisées.

Il considère:

les oiseaux qui utilisent les eucalyptus et se nourrissent dans les plantations;

Tableau 11

Comparaison des populations animales des forêts indigènes et des plantations

			Végétation spontanée		Plantation		
Auteur	Pays	Groupe	Eucalyptus	Autres essences	Pins	Eucalyptus	Araucaria
Dirtz et al (1975)	Brésil	Petits mammifères		x		x	x
Friend (1982)	Australie	Mammifères	x		x		
Neumann (1979)	Australie	Coléoptères	x		x		
Steyn (1977)	Afrique du Sud	Oiseaux		x		x	
Woinarski (1979)	Australie	Oiseaux	x			x	
Jocqué (1977)	Malawi	Araignées/termites		x		x	

ceux qui utilisent le sous-étage des plantations âgées pour y nicher et chercher leur nourriture;

ceux qui nichent dans les plantations et se nourrissent au dehors;

ceux qui n'utilisent les plantations d'eucalyptus que pour s'y nourrir.

Certains oiseaux du lowveld, également, font des invasions irrégulières dans les plantations, comme ce fut notamment le cas lors d'une sécheresse d'hiver en 1969/70.

Steyn a, d'autre part, identifié des niches qui, en Australie, sont occupées par des oiseaux spécialisés, mais n'étaient pas encore occupées par des espèces indigènes en Afrique du Sud.

Il conclut que les plantations d'eucalyptus ne sont pas aussi stériles et impropres à la vie de la faune aviaire qu'on les a accusées d'être. Certaines espèces peu adaptables en avaient été chassées, et les plantations ne conviennent pas pour le mode de vie de certaines espèces, par exemple le touraco à huppe violette (Gallirex porphyreolophus), qui est un frugivore, les monseigneurs et veuves (Euplectes spp.), certaines alouettes et certains pipits, qui préfèrent les espaces découverts.

Comparaison entre forêts spontanées d'eucalyptus et plantations d'eucalyptus

Woinarski (1979) a comparé la faune aviaire d'une plantation d'Eucalyptus botryoides âgée de 25 ans avec celle d'une forêt naturelle inéquienne d'E. dives adjacente, ayant un couvert discontinu de hauteur moyenne, avec un sous-étage varié de buissons et de graminées. La station étudiée était située près de Melbourne, en Australie. Il constata que six espèces d'oiseaux étaient statistiquement plus communes dans la plantation, et neuf dans la forêt naturelle. La diversité des espèces était légèrement plus grande dans la forêt naturelle, où l'on trouvait davantage d'espèces d'oiseaux de proie, moins d'espèces cherchant leur nourriture dans l'écorce et dans les branches, et moins d'espèces se nourrissant de graines, de fruits et de nectar. Certaines espèces étaient plus communes à l'intérieur des plantations qu'en lisière.

Comparaison entre forêts spontanées d'eucalyptus et forêts de Pinus radiata

Deux comparaisons de cet ordre ont été faites, l'une par Friend (1982) à Gippsland (Victoria), concernant les mammifères, et l'autre par Neumann (1979) dans le nord-est du Victoria, portant sur les coléoptères.

En ce qui concerne les mammifères, la richesse en espèces était moindre et la proportion d'espèces introduites plus élevée dans les plantations, notamment dans les jeunes peuplements où n'existait aucune végétation d'étage dominant. Certains petits mammifères fouisseurs étaient favorisés dans des plantations d'un âge donné, en fonction de leurs exigences en matière de nourriture et de refuge. Les herbivores et carnivores fouisseurs de plus grande taille étaient communs dans les plantations de pins, bien que les aires de pâturage pour les herbivores fussent limitées dans les plantations d'âge moyen aux lisières de parcelles ou aux pistes. La plupart des herbivores, nectarivores et occupants d'arbres creux étaient peu communs dans les plantations, où ils étaient cantonnés dans les vestiges de forêt spontanée. Leur survie à long terme dans les plantations était considérée comme incertaine. Certaines espèces arboricoles ayant des exigences relativement larges en matière de nourriture et de refuge étaient capables de vivre dans des parcelles de plantations anciennes qui portaient un sous-étage arbustif.

Dans les plantations de pins le nombre d'espèces animales était maximum au voisinage des lisières jouxtant la forêt spontanée, et là où il y avait une mosaïque de vestiges de forêt spontanée et de peuplements de pins d'âges divers. Les andains de rémanents peuvent constituer des refuges importants pour certains petits mammifères indigènes dans les plantations à leur première révolution, en effet ces espèces étaient absentes des jeunes plantations à leur seconde révolution, où il n'y avait pas de tels andains.

Neumann (1979) a formulé des conclusions analogues sur les coléoptères. Il a constaté que la diversité des communautés de coléoptères était nettement plus grande dans les eucalyptus à maturité que dans les peuplements âgés de pins, du fait que, dans les eucalyptus, il y avait une répartition plus régulière des individus entre les espèces et une plus grande richesse d'espèces. Dans les deux types de peuplements, la gamme d'espèces était plus étendue durant le printemps, et l'été qu'en automne et en hiver.

Neginhal (1980) décrit les effets d'un reboisement progressif, depuis 1958, de savanes herbeuses secondaires dans le Ranibennur Blackbuck Sanctuary, réserve de 119 km^2 située dans l'Etat indien de Karnataka. Le résultat en a été une reconstitution des populations d'antilopes cervicapres (Antilope cervicapra), d'outardes indiennes (Choriotis nigriceps) et de loups indiens (Canis lupus pallipes), espèces qui étaient presque éteintes. L'auteur considère comme douteux que cette tendance se maintienne si les zones découvertes subsistantes étaient reboisées.

Conclusions

On peut déduire de cette étude quelques généralisations relativement simples et claires:

Les plantations ont une flore et une faune moins diverses que les forêts spontanées.

Les plantations d'essences exotiques ont une flore et une faune moins diverses que les plantations d'essences indigènes.

On peut rendre les habitats offerts par les plantations plus favorables pour les animaux et les plantes grâce à un aménagement approprié qui crée des conditions de milieu propices aux espèces que l'on désire attirer. Le maintien de taches ou de couloirs de végétation spontanée est très utile à cet égard.

Des plantations limitées dans les zones déboisées et l'abri qu'elles procurent peuvent être favorables aux populations d'animaux sauvages.

CHAPITRE V

QUELQUES CONSIDERATIONS SOCIALES

Nous avons déjà souligné dans l'introduction que toute distinction entre effets écologiques des plantations d'eucalyptus et conséquences plus larges sur le plan social et économique était en grande partie artificielle, parce que c'est surtout dans leur influence sur les humains que réside l'importance des effets écologiques. Dans le présent chapitre, nous examinerons, en termes très généraux, les répercussions que les plantations d'eucalyptus peuvent avoir pour les populations, de façon à replacer les chapitres précédents dans un contexte plus large.

Une plantation d'eucalyptus peut avoir un certain nombre d'effets d'ordres différents.

Ces effets peuvent ne concerner strictement que la station plantée, par exemple des changements dans la fertilité du sol ou une influence de l'ombrage et de la concurrence des racines sur les espèces pastorales poussant sous les arbres.

Ils peuvent au contraire être non locaux, et influer sur les conditions loin de la station telles que l'hydrologie régionale.

Une troisième catégorie comprend des actions que l'on peut qualifier de perturbatrices. On peut y inclure les substitutions entraînées par les plantations d'eucalyptus: dans les formes d'utilisation des terres, dans les produits, dans l'emploi.

La plupart des effets écologiques décrits dans le chapitre sur les eucalyptus et l'eau sont extra-locaux; ceux concernant la fertilité du sol et l'allélopathie sont liés à la station; il en est de même de ceux relatifs à la concurrence entre végétaux, mais le remplacement d'un type de communauté végétale par un autre peut être considéré comme une action perturbatrice. Tous ces effets ont des répercussions sociales: les unes purement locales, et pouvant être traitées à l'échelon local, les autres d'une portée plus étendue, et exigeant d'être appréciées dans un cadre régional, voire national.

D'autre part, les effets dépendront pour une large part de l'échelle des plantations proposées. Si les eucalyptus ont donné lieu à controverse, c'est en grande partie parce qu'on les plante un peu partout et sur de grandes surfaces. Leurs effets sont alors très visibles. Et aussi, comme nous l'avons mentionné plus haut, on les a souvent plantés en proclamant à son de trompe qu'ils allaient résoudre tous les problèmes, et certaines des critiques formulées à leur encontre procèdent d'espoirs déçus.

A côté des questions purement écologiques que nous avons examinées dans les chapitres précédents, nous mentionnerons ci-dessous des caractéristiques des eucalyptus et de leur sylviculture qui sont considérées comme importantes d'un point de vue social. Nous les classerons en avantages et inconvénients, sans les ranger par ordre d'importance.

Avantages

Arbres à fins multiples, fournissant bois, ombrage, abri, miel, huiles essentielles et, pour certaines espèces (exemple: Eucalyptus microtheca), graines.

Productivité élevée et, dans des conditions de culture appropriées, facilité de traitement en taillis.

La litière peut être récoltée et utilisée comme combustible.

Les eucalyptus projettent une ombre latérale légère, et offrent de ce fait de bonnes possibilités de cultures intercalaires (il y a certaines divergences d'opinion quant à leur aptitude à cet égard).

Inconvénients

Ne conviennent pas comme arbres fourragers.

Ne se prêtent pas à une coupe à la machette lorsqu'ils atteignent un certain développement.

L'élevage des plants, les désherbages et la protection contre le bétail présentent des difficultés (dont certaines sont communes à d'autres essences de reboisement).

Le ramassage de litière pour le combustible expose le sol à l'érosion.

Les eucalyptus peuvent évincer l'agriculture de terres propices à la production vivrière.

Les plantations d'eucalyptus peuvent déposséder les paysans de leurs terres et de leur emploi.

Elles peuvent faire du bois de feu un objet de commerce là où c'était jusque-là un bien gratuit.

Ce sont là des considérations qui, en même temps que les effets écologiques, doivent être prises en compte lorsqu'il s'agit de décider si l'on doit ou non planter des eucalyptus. Elles varieront sans doute d'un cas à l'autre, mais tout effet défavorable peut certainement être tempéré grâce à une planification attentive et à une concertation avec les populations locales.

CHAPITRE VI

CONCLUSIONS

Dans chacun des chapitres qui précèdent, on a cherché à évaluer les données existantes et les conclusions que l'on peut en tirer, et à suggérer des lignes directrices. Notre propos n'est pas ici de les répéter en détail, mais plutôt de tirer des conclusions plus générales.

Lorsqu'il s'agit de décider s'il faut ou non planter des eucalyptus, les questions auxquelles on est confronté sont les suivantes:

La plantation d'eucalyptus entraînera-t-elle, dans les circonstances particulières considérées, des coûts - au sens le plus large du terme - que ne comporterait pas la plantation d'autres essences?

Dans l'affirmative, ces coûts seront-ils compensés par les avantages (rapidité de croissance ou adaptabilité à des conditions défavorables) que procurera la plantation d'eucalyptus?

D'autres questions auxquelles devront répondre les responsables de la planification de la recherche sont celles-ci:

Y a-t-il suffisamment d'informations probantes, à en juger par la présente étude et par ce que l'on sait des répercussions sociales des plantations d'eucalyptus, pour pouvoir prendre des décisions valables en la matière?

Si ce n'est pas le cas, quelles sortes d'informations ou de programmes de recherche sont nécessaires pour combler cette lacune?

Quelle est l'importance du problème, à une échelle générale plutôt que locale, et quels investissements en matière de recherche justifie-t-il en conséquence?

Effets écologiques

Nature de la recherche

Nous avons déjà, dans l'introduction et dans le corps de cette étude, observé deux difficultés qui se présentent: la première est la difficulté de formuler des généralisations valables sur un sujet qui couvre tant d'espèces et de situations locales différentes, et la seconde est le caractère artificiel de la distinction entre effets "écologiques" et coûts pouvant être considérés, dans un sens plus strict, comme "sociaux".

Cette dernière difficulté ne peut être surmontée que par une étude critique plus poussée que nous n'avons pu le faire ici des attitudes sociales vis-à-vis des plantations d'eucalyptus et des coûts et bénéfices qui y sont associés. On ne peut que fortement recommander qu'une telle étude soit entreprise pour compléter le présent travail.

La première difficulté est plus difficile à surmonter. S'il fallait mettre sur pied suffisamment d'essais critiques pour comparer les eucalyptus avec d'autres essences de reboisement possibles et avec la végétation naturelle dans toutes les stations et toutes les situations possibles où le problème risque de se poser, l'ampleur et le coût de ce travail serait hors de proportion avec l'importance de la question. En revanche, des essais limités sans répétition, tels que nombre de ceux que nous avons examinés, ne sont même pas utilisables de manière valable à l'échelle locale.

Les recherches les plus utiles pour les besoins de notre étude sont de deux ordres: des recherches fondamentales visant à clarifier les processus généraux (cycle de l'eau et hydrologie des bassins versants, cycle des éléments nutritifs, physique des rideaux-abris), et des recherches comportant une étude critique complète de l'ensemble d'un système (notamment études globales de bassins versants). Mais même ces dernières ne peuvent être appliquées à d'autres emplacements que si les conditions sont comparables, et il serait déraisonnable de supposer que de telles études puissent être menées dans tous les nombreux cas où une comparaison entre eucalyptus et autres essences est nécessaire.

La meilleure solution semblerait être d'utiliser les "systèmes" déjà élaborés pour les études de bassins versants et pour le cycle des éléments nutritifs, de les affiner si nécessaire pour qu'ils s'appliquent aussi exactement que possible au cas des eucalyptus, et d'identifier les mesures critiques requises dans chaque cas particulier pour évaluer les effets probables de toute intervention dans le système (plantation d'eucalyptus, dans le cas présent). Si l'on pouvait élaborer des mesures relativement simples, cela fournirait un avertissement précoce de toutes les graves conséquences possibles, et permettrait de formuler à l'avance les prescriptions voulues (concernant, par exemple, les apports d'engrais). Il est recommandé que la FAO encourage des recherches dans cette voie.

Nature des effets écologiques

Nous résumons ci-après les principales conclusions de notre étude.

<u>L'eau</u>. Les bassins versants boisés ont un rendement en eau inférieur à celui des bassins versants couverts d'une végétation buissonneuse ou herbeuse, mais ils peuvent mieux régulariser les débits, selon la nature du sous-bois. Il y a toutefois des informations provenant des tropiques humides selon lesquelles des plantations jeunes d'eucalyptus à croissance rapide consomment davantage d'eau et régularisent moins bien les débits que les forêts naturelles.

D'après des travaux australiens , les plantations d'eucalyptus réduiraient le rendement des bassins versants plus que les pins, mais le témoignage n'est pas probant.

On plante souvent des eucalyptus là où il n'y avait pas d'arbres auparavant. Dans ce cas, le rendement en eau des bassins versants diminue, et le niveau des nappes s'abaisse. L'effet est maximum lorsque les arbres sont jeunes et poussent rapidement. D'autres essences provoqueraient vraisemblablement des effets comparables.

En raison du fort développement de leurs racines traçantes, certains eucalyptus concurrencent vigoureusement la végétation basse et les cultures avoisinantes dans les cas où l'eau est peu abondante.

Il manque des témoignages décisifs sur deux questions importantes: 1) Les eucalyptus consomment-ils davantage d'eau ou ont-ils un effet plus important sur le régime hydrique que d'autres essences? 2) Les eucalyptus utilisent-ils l'eau d'une manière plus efficace (c'est-à-dire produisent-ils plus de bois par unité d'eau absorbée) que les autres essences? Il est possible toutefois qu'il n'y ait pas de réponse générale à l'une et l'autre de ces questions.

L'érosion. Les eucalyptus ne sont pas des arbres satisfaisants pour la lutte contre l'érosion. Dans des conditions sèches, la végétation basse est éliminée par la concurrence des racines. Cet effet est accentué par la récolte ou le brûlage de la litière, mais atténué par l'ouverture de banquettes. L'efficacité des eucalyptus en plantations brise-vent est analogue à celle d'autres arbres de même taille et de même forme.

Les éléments nutritifs. Il semble que la forêt naturelle d'eucalyptus empêche la perte d'éléments nutritifs par lessivage ou ruissellement aussi bien, sinon légèrement mieux, que d'autres forêts naturelles.

Les effets des eucalyptus non exploités sur le sol dépendent de l'état du sol sur lequel on les plante: ils sont bénéfiques sur un terrain dégradé, mais ne le sont probablement pas si les eucalyptus remplacent une forêt spontanée. Il a été démontré au Malawi que la litière d'eucalyptus se décompose moins bien (en raison de la diminution d'activité des termites) que la litière d'une forêt claire spontanée à *Brachystegia*.

Lorsque les eucalyptus sont plantés sur un terrain nu, il y a accumulation et incorporation de matière organique. Il se forme un humus de type mull dans la plupart des cas, mais on a parfois signalé la formation de mor. Il n'y a pas de signes de podzolisation ou de dégradation irréversible du sol.

On a démontré que des eucalyptus plantés sur sol de tourbière riche en azote absorbaient de grandes quantités de cet élément et pouvaient être utilisés pour réduire l'eutrophisation.

L'exploitation des eucalyptus à courte révolution, surtout si toute la biomasse est récoltée, entraîne un épuisement rapide des réserves d'éléments nutritifs du sol. C'est une conséquence directe de leur rapidité de croissance, qui serait le fait de n'importe quelle autre culture à haut rendement, et est d'autre part étroitement liée à la durée de la révolution. Certains témoignages montrent que les prélèvements d'éléments nutritifs dans des peuplements comparables de pins sont plus importants. Il faudrait effectuer dans chaque cas des calculs de "coût en éléments nutritifs", et décider en conséquence de la fertilisation à apporter.

Concurrence. Les effets des eucalyptus sur la végétation de sous-bois dépendent dans une large mesure du climat. La plupart sont dus à la concurrence pour l'eau; les effets provenant de la réduction de l'éclairement sont probablement moindres que ceux d'autres essences feuillues ou de pins, en raison de l'ombre légère projetée par le feuillage des eucalyptus. Dans des conditions humides, la couverture vivante est moins affectée que dans des conditions sèches où elle peut être fortement réduite, laissant un sol nu sensible à l'érosion.

On a montré que certaines espèces d'eucalyptus produisent des toxines qui inhibent la croissance de certaines herbes annuelles.

Les effectifs et la diversité des espèces animales (mammifères, oiseaux et insectes) sont moindres dans les plantations d'eucalyptus exotiques que dans la forêt naturelle. Il semble qu'on ait le plus souvent le classement suivant: forêt naturelle > plantations d'essences indigènes > plantations d'essences exotiques. Cet effet peut être atténué mais non éliminé par un aménagement visant à créer des habitats appropriés.

Substitution. Les plantations d'eucalyptus se substituent dans une large mesure aux écosystèmes en place. L'importance relative, tant écologique que sociale, de ces écosystèmes originels doit être soigneusement évaluée en regard des avantages que pourront apporter les nouvelles plantations.

Conclusion

En conclusion, après avoir passé à fond en revue les informations disponibles, il nous faut souligner qu'il ne peut et ne doit pas y avoir de réponse universelle, dans un sens favorable ou défavorable, à la question des plantations d'eucalyptus: chaque cas particulier doit être examiné selon ses caractéristiques propres. Nous ne pensons pas que de nouvelles recherches générales, quelque détaillées qu'elles soient, puissent modifier cette conclusion.

Nous insistons sur le fait qu'une plantation d'eucalyptus, surtout à grande échelle, ne doit pas être entreprise sans une évaluation minutieuse et raisonnée de ses conséquences sociales et économiques, et une appréciation aussi juste que possible de ses avantages et de ses inconvénients. Le mieux pour cela est sans doute d'examiner avec compréhension les conditions écologiques et les besoins de la population locale. En ce qui concerne les premières, il sera utile de connaître les résultats des recherches fondamentales sur le cycle de l'eau et des éléments nutritifs et autres aspects du milieu que nous avons mentionnées.

Une recherche rapide de circonstance dans une localité donnée peut aider à prendre des décisions à l'échelon local; mais les résultats d'une telle recherche ne doivent pas être appliqués par extrapolation à des situations différentes, ni servir de base à des généralisations hasardeuses.

BIBLIOGRAPHIE ANNOTEE

La bibliographie ci-après comprend toutes les publications ayant trait aux effets écologiques des eucalyptus qui ont pu être recensées. Les références sur d'autres sujets, tels que croissance, sylviculture ou questions socio-économiques, ne sont incluses que si elles ont un rapport avec les questions d'environnement.

En dehors de la référence elle-même, chaque entrée présente: 1) une classification par sujet; 2) une classification en fonction de l'utilité de la référence et de son rapport avec le sujet; 3) un bref résumé du contenu de la publication. Dans toute la mesure du possible, on a rassemblé et lu toute la littérature existante sur les principaux sujets traités dans cette étude; dans les rares cas où on n'a pu obtenir qu'un résumé, cela est précisé.

Classification par sujet

Chaque référence comporte un (ou plusieurs) des symboles de classement suivants:

H Consommation d'eau, hydrologie, etc.

N Consommation d'éléments nutritifs, fertilisation, teneur en éléments nutritifs du sol et de la biomasse, etc.

E Effets écologiques autres que H et N.

G Textes généraux (souvent livres) utilisés pour la rédaction de l'étude.

A Analyses d'autres articles. Rarement citées (c'est l'original qui est cité).

D Divers. Débats, opinions personnelles, applications, etc.

Classification par utilité

Chaque référence a été classée comme suit:

xxx Très utile pour l'étude (témoignage sûr), cité. Référence clef.

xx Utile. Souvent cité. Fiabilité satisfaisante.

x Pas très utile pour l'étude. Utile à titre indicatif ou comme exemple d'effets écologiques. Peut aussi avoir une fiabilité incertaine. La plupart des analyses sont également placées ici.

Al-Mousawi, A.H. et Al-Naib, F.A.G. Allelopathic effects of Eucalyptus
1975 microtheca F. Muell. Journal of the University of Kuwait (sci.) 2 59-66

E xx Une étude expérimentale a confirmé que la faible densité des espèces herbacées sous E. microtheca en Iraq est probablement due à des substances phénoliques ou volatiles contenues dans les feuilles plutôt qu'à la concurrence.

Andrae, F. von et A. Krapfenbauer. Untersuchungen über Biomassen- und
1979 Nährstoffverhältnisse in einer vierjährigen Aufforstung mit Eucalyptus saligna Smith in Santa Maria, R.S., Brasilien. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 96 (1) 1-29.

N xxx Etude complète sur la biomasse et les éléments nutritifs, et analyses détaillées portant sur les arbres et le sol. Les faibles teneurs de P et K dans le sol par comparaison avec les arbres amènent à la conclusion que la production soutenue est compromise pour le peuplement en question.

Anon. Research on relationship between Eucalyptus and soil. FAO, Joint
1960 Sub-Commission on Mediterranean Forestry Problems, Working Party on Eucalyptus, 4th session, April-May 1960, Lisbon. Secretariat Note. 2 pp.

NH x Bien que les études patronnées par la FAO et l'IUFRO vers la fin des années cinquante soient dignes de confiance, il y manque encore des informations sur les besoins en eau et en éléments nutritifs.

Anon. Research on the Relationship between Eucalyptus Stands and the
1966 Soil. Report from IUFRO-meeting in Munich 1966. p. 13-24.

N xx Présente l'état actuel des études patronnées par la FAO et l'IUFRO et ayant débuté vers la fin des années cinquante (10 références). Des données sur l'absorption des éléments nutritifs et l'influence du sol en conditions méditerranéennes sont présentées. Les conclusions ("les eucalyptus n'ont qu'une influence faible ou non négative sur le sol") sont fondées sur des données incomplètes.

Anon. Carte de la répartition mondiale des régions arides, avec
1977 notice explicative. Unesco, Notes techniques du MAB, 7. 55 p., 1 carte.

G xx Contient une carte assez détaillée divisant le monde en zones hyperarides, arides, semi-arides, subhumides et humides, basées sur les précipitations et l'évapotranspiration potentielle.

Anon. 1978 — Eucalyptus for wood production. CSIRO, Adelaide, Australia. 434 pp.

G xx Présente une analyse complète du sujet des plantations d'eucalyptus pour le bois.

Anon. 1978 — Relatório referente ao período de Julho de 1977 a Junho de 1978 do projecto "Estudos do ecossistema eucaliptal". Centro de Estudos florestais das Universidades de Lisboa. 37 pp.

N xx Présente l'état des études sur les eucalyptus au Portugal, et certains résultats. Des données sur les teneurs en éléments nutritifs dans l'écorce et le bois de fût d'E. globulus sont présentées. Peu de répétitions (5 arbres). Donne aussi des chiffres de teneurs en éléments nutritifs pour les céréales. Aucune conclusion n'est tirée. Des plans sont présentés pour de nouvelles recherches couvrant un large champ.

Anon. 1978 — Ecosystèmes forestiers tropicaux. Un rapport sur l'état actuel des connaissances. Unesco/PNUE/FAO. Recherches sur les ressources naturelles, XIV. 740 p.

G xx Contient deux chapitres très utiles pour la présente étude: "Bilan hydrique des sols" (256-269), et "Décomposition et cycles biochimiques" (270-285).

Anon. 1979 — Les eucalyptus dans les reboisements. Etude FAO: Forêts n° 11. Rome.

G xx Ouvrage complet et détaillé, mais ne fournit aucune donnée sur les effets écologiques des reboisements d'eucalyptus.

Anon. 1981 — Terrestrial Nitrogen Cycles. Processes, Ecosystem Strategies and Management Impacts. Proceedings of an International Workshop arranged by the SCOPE/UNEP International Nitrogen Unit of the Royal Swedish Academy of Sciences and the Commission for Research on Natural Resources of the Swedish Council for Planning and Coordination of Research, Gysinge Värrdshus, Osterfärnebo, Sweden. Ecological Bulletin Nö 33. 717 pp.

Anon. — Programme de recherche d'accompagnement du PARFOB (bilan 83 de recherches). Institut sénégalais de recherches agricoles, Centre national de recherches forestières, Dakar, Sénégal. 16 p.

H x L'humidité du sol dans les 3 mètres supérieurs sous une plantation d'E. camaldulensis âgée de 6 à 18 mois, dans des conditions semi-arides, a diminué 1 an et demi après le début des mesures. Cette humidité décroît moins sous un boisement naturel (Acacia seyal), et elle s'accroît sous un sol nu. Aucune conclusion n'est tirée étant donné que l'expérimentation a tout juste commencé. Nombreuses répétitions. Etude susceptible de présenter un grand intérêt.

Ashton, D.H. 1975 — The Root and Shoot Development of Eucalyptus regnans F. Muell. Australian Journal of Botany 23 867-887.

G xx Décrit le système radiculaire d'E. regnans depuis le stade de semis jusqu'à celui d'arbre adulte, dans l'Etat de Victoria en Australie. Des exemples sont donnés provenant de différentes stations (pentes, stations sèches, marécageuses, etc.). Bonnes illustrations.

Attiwill, P.M. 1966 — The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in mature Eucalyptus forest. Plant and Soil 24 (3) 390-406.

N xxx La concentration en ions (renfermant P, K, Ca, Mg et Na) dans l'eau de pluie recueillie sous le couvert des arbres est plus grande que celle de l'eau de pluie recueillie en terrain découvert. La conclusion que ce phénomène est dû au lessivage des feuilles semble plausible.

Attiwill, P.M. 1972 — Phosphorus adsorption isotherms and growth responses for a highly weathered Eucalyptus forest soil. Paper for section 3 in "Australian forest-tree nutrition conference", 1971, Canberra, Forestry and Timber Bureau.

N x L'absorption de phosphore et la production de matière sèche pour E. delegatensis, Pinus radiata et blé dans l'Etat de Victoria (Australie) sont plus fortes sur un sol à teneur élevée en P que sur un sol à teneur faible.

Awe, J.O.; 1976 — Shepherd, K.R. et R.G. Florence. Root Development in Provenances of Eucalyptus camaldulensis Dehn. Australian Forestry 39 (3) 201-209.

G xx Le développement des racines sur six provenances d'E. camaldulensis, une d'E. saligna et une d'E. pilularis a été observé dans des conditions naturelles simulées, dans la zone sèche de l'intérieur de l'Australie. Les résultats indiquent qu'E. camaldulensis s'installe avec succès dans un sol se desséchant rapidement, du fait qu'il peut produire en un temps court une grande masse de racines. Les six provenances sont classées entre elles.

Babalola, O. et A.G. Samie. The Use of a Neutron Technique in Studying Soil
1972 — Moisture Profiles under Forest Vegetation in the Northern Guinea Zone of Nigeria. Tropical Science 14 (2) 159-168.

H xx Le profil de l'humidité du sol (0-100 cm) dans un limon sableux a été déterminé durant une période de 12 mois, sous une forêt claire naturelle (composée surtout d'Isoberlinia doka) et sous une plantation d'E. citriodora âgée de 10 ans, dans des conditions semi-arides. L'emmagasinage de l'eau est plus important sous le boisement naturel, mais les eucalyptus sont plus capables d'aller chercher l'eau en profondeur.

Bailly, C.; Benoit de Coignac, G.; Malvos, C.; Ningre, J.M. et J.M. Sarrailh.
1974 — Etude de l'influence du couvert naturel et de ses modifications à Madagascar. Expérimentations en bassins versants élémentaires. C.T.F.T. (Centre technique forestier tropical), Cahiers scientifiques N° 4. 114 p.

H xxx Des études de ruissellement, etc. ont été menées pendant 8 ans sur quatre stations différentes. E. robusta prévient l'érosion dans une très large mesure, en comparaison de diverses cultures. La conclusion que l'écrêtage des maxima de ruissellement diminue l'érosion paraît bien fondée.

Bailly, C.R. et P.N. Sall. Adaptation de l'Eucalyptus à la sécheresse.
1983 ou 84 — Institut sénégalais de recherches agricoles, Centre national de recherches forestières, Dakar, Sénégal. 6 p.

H ? On a mesuré les changements de l'humidité du sol sous une plantation d'E. camaldulensis, un peuplement naturel d'Acacia seyal âgé de 30-40 ans et un sol nu pendant une période de 2 ans, en conditions semi-arides. Aucune conclusion n'est tirée en raison de la courte durée de l'expérience. On a trouvé pour E. camaldulensis un point de flétrissement correspondant à pF 4,8.

Baker, T.G. — Dry matter, nitrogen, and phosphorus content of litterfall and
1983 — branchfall in Pinus radiata and Eucalyptus forests. New Zealand Journal of Forestry Science 13 (2) 205-221.

N xx. On a trouvé des concentrations de N analogues dans la litière sous un peuplement d'E. regnans âgé d'une vingtaine d'années et sous cinq peuplements de Pinus radiata âgés de 18-22 ans dans le Gippsland central (Victoria, Australie). La concentration de P était plus élevée dans la litière des peuplements de pins. La chute de litière est environ deux fois plus importante dans le peuplement d'eucalyptus que dans ceux de pins. La litière de peuplements naturels d'E. obliqua et E. sieberi a également été analysée.

Balagopalan, M. et A.I. Jose. Distribution of organic carbon and different forms
1984 of nitrogen in a natural forest and adjacent eucalypt plantation at Agrippa, Kerala. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

N ? Résumé. Le pH et l'oxydation dans un sol sous forêt naturelle (non précisée) sont moins élevés que sous une plantation d'eucalyptus. La teneur en carbone organique, la capacité d'échange de cations, l'azote total et l'azote sous différentes formes sont plus élevés sous la forêt naturelle. Aucune figure ou description n'est donnée dans ce résumé.

Baldy, C.; Poupon, H. et A. Schoenenberger. Etude des variations de la teneur
1970 en eau du sol en fonction du couvert végétal en Tunisie du Nord. Annales de l'Institut national de recherches forestières de Tunisie 4 (3). 40 p.

H xx Donne une description du régime hydrique du sol sous E. camaldulensis, E. maideni, E. saligna, Pinus radiata, P. pinea et un défrichement (graminées) à Zerniza (Tunisie). On a constaté que les eucalyptus asséchaient le sol plus rapidement que les pins au cours de la saison sèche de trois mois, et la progression du dessèchement est différente selon la profondeur. La croissance en hauteur aussi bien qu'en diamètre des eucalyptus est "négative" au cours de la période sèche.

Banerjee, A.K. Evapo-transpiration from a young Eucalyptus hybrid plantation
1972 of West Bengal. Proceeding at Symposium on Man Made Forests in India, June 8-10 1972, Dehra Dun, India. p. III D 17-23.

H xxx La précipitation totale, l'écoulement sur écorce et la précipitation au sol ont été mesurés pendant 1 an dans une plantation d'eucalyptus hybride âgée de 5 ans, en conditions humides. L'évapotranspiration et l'emmagasinage de l'eau dans le sol ont été calculés. La conclusion (l'humidité du sol n'a pas diminué) n'a qu'une valeur indicative.

Banerjee, S.P. et K. Singh. Characteristics of the soils of some Eucalyptus
1972 plantations of Madhya Pradesh. Proceeding at Symposium on Man Made Forests in India, June 8-10 1972, Dehra Dun, India. p. III D 35-48.

G xx Le sol de 13 plantations d'eucalyptus hybrides est décrit. L'analyse de la grande masse de données obtenues amène les auteurs à penser que, pour cette espèce, (1) les sols superficiels ne conviennent pas (disponibilités en eau et enracinement); (2) un horizon de $CaCO^3$ arrête la croissance des racines; (3) une teneur élevée en matière organique et en azote est favorable, mais non (4) des conditions d'engorgement.

Bara T., S.
1970

Estudio sobre Eucalyptus globulus. I. Composición mineral de las hojas en relación con suposición en el arbol, la composición del suelo y la edad. Evolución del suelo por el cultivo de los eucaliptos en el Monte Muiño del Ayuntamiento de Zas (La Coruña). Instituto Florestal de Investigaciónes y Experiencias, Madrid. Communicacion No. 67.

N xx Résumé. Les teneurs en éléments minéraux ont été analysées dans les feuilles et dans des sols sableux sous des plantations d'E. globulus de 5, 7, 8, 10, 11 et 12 ans. N, P, Mg, Cu et Zn augmentent dans les feuilles, tandis que B et Al diminuent, avec l'âge des peuplements. La capacité d'échange de cations diminue aussi. Pas de chiffres présentés.

Bara, T., S.
1981

Avance de los resultados de los effectos de eucalypto sobre la composición granulométrica y quimica del suelo en Lourizán (Pontevedra). Departemento Forestal de Zonas Húmedas, Pontevedra, Spain. 11 p.

N xx Les caractéristiques du sol sous une plantation d'E. globulus âgée d'une centaine d'années sont analogues à celles trouvées sous un peuplement de Quercus robur (âge inconnu) et sous un peuplement de Pinus pinaster de 30 ans, dans la région humide du nord-ouest de l'Espagne. Il n'est pas possible de porter un jugement sur la conclusion que la sylviculture des eucalyptus n'a pas entraîné de dégradation du sol ou d'épuisement de ses réserves nutritives dans cette zone, étant donné que les différentes essences ont été plantées sur des sols différents.

Bara T., S.
1982

Effectos ecologicos del Eucalyptus globulus en Galicia. Paper presented at the 1st Asamblea Nacional de Investigación Forestal, May 1982, Madrid, Spain.

N x Rapport sur le même travail que ci-dessus.

Bara T., S.
1983

Efectos del Eucalyptus globulus sobre le composición de los suelos de Galicia. I. Indice estimativo de la degradación. Paper presented at Seminario de Estudiós Gallegos, Area de Ciencias Agrarias. II. Jornadas de Estudio Sobre el Tema "Os usos do Monte en Galicia", October 1983, Lourizan, Pontevedra, Spain.

N x Rapport sur le même travail que ci-dessus.

Bell, F.C. et M.T. Gatenby. Effects of exotic softwood afforestation on water yield. Water Research Foundation of Australia, Kingsford, N.S.W. Bulletin No. 15. 99 pp.
1969

H ? Résumé. 11 bassins versants de Nouvelle-Galles du Sud (Australie) sont décrits. Conclusion: aucune différence dans les rendements en eau entre peuplements adultes de Pinus radiata et forêt claire d'eucalyptus également à maturité. Les deux essences ont aussi à peu près la même consommation d'eau. Les conclusions ne peuvent être jugées à partir du résumé, mais la méthode de comparaison des consommations d'eau n'est pas suffisamment critique.

Bellote, A.F.J.; Sarruge, J.R.; Haag, H.P. et G.D. de Oliveira. Absorção de macronutrientes e micronutrientes pelo Eucalyptus grandis (Hill, ex-Maiden) em função da idade. Silvicultura 8 (32) 633-643.
1983

N x Les teneurs en éléments nutritifs dans différentes parties de plantations d'E. grandis de 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 ans dans l'Etat de São Paulo (Brésil) ont été analysées. Les chiffres sont calculés de manière incorrecte, et aucune conclusion ne peut en être tirée.

Bernhard-Reversat, F. Décomposition et incorporation à la matière organique du sol de la litière d'Eucalyptus camaldulensis et de quelques autres essences. II. Evolution des substances solubles de la litière dans le sol. III. Fractionnement granulométrique de la matière organique du sol superficiel. ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique Outre-Mer), Centre de Dakar-Hann. 33 p.
1982

N xx La minéralisation de la litière d'E. camaldulensis et d'Acacia seyal est comparée sur deux stations au Sénégal en conditions semi-arides. Au bout de 8 jours, 50 pour cent de la litière d'acacia était minéralisée tant dans un sol sableux que dans un sol argileux, tandis que pour la litière d'eucalyptus ce pourcentage était respectivement de 34 pour cent et 25 pour cent. Quatre répétitions et une nouvelle analyse de la litière (davantage de polyphénols dans la litière d'eucalyptus) permettent de penser que ces résultats sont dignes de confiance.

Bernhard-Reversat, F. Les cycles biochimiques des éléments minéraux en plantations d'Eucalyptus camaldulensis et en forêt naturelle à Acacia seyal au Sénégal (1ère année de mesures: 1980-81). ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique Outre-Mer), Centre de Dakar. 17 p.
1983 ou 84

N xxx Les teneurs en éléments nutritifs dans le sol, la végétation de sous-bois et la litière, et la précipitation au sol dans des peuplements d'E. camaldulensis et Acacia seyal ont été mesurées pendant un an. L'auteur conclut que la teneur du K dans le sol est limitée, et que le P n'est pas assimilé comme il le devrait (ce qui pourrait être dû à l'absence de mycorhizes). Nombreuses répétitions.

Bhatia, C.L. 1984 Eucalyptus in India - its status and research needs. Indian Forester 110 (2) 91-96.

A x Donne un bref historique des eucalyptus en Inde, et une liste des espèces ayant le mieux réussi. L'auteur affirme, sans preuves à l'appui, que les eucalyptus sont de meilleures essences que le sal (Shorea robusta) pour maintenir tant l'humidité que la fertilité du sol, mais il souligne la nécessité de recherches plus poussées.

Birot, Y. et J. Galabert. 1969, a,b Economie de l'eau et travail du sol dans les plantations forestières de zone sèche. Application à la zone sahélo-soudanaise. Bois et forêts des Tropiques N° 127 29-44, 128 23-37.

G x Les auteurs discutent de l'évapotranspiration réelle et potentielle et concluent, principalement à partir des recherches du CTFT au Burkina Faso que les arbres (ici E. crebra) ralentissent leur transpiration lorsque le sol se dessèche (N° 127).

G x Les auteurs affirment que les différentes essences utilisent l'eau à différents niveaux, et montrent des exemples de systèmes radiculaires et de fluctuation de l'humidité du sol au cours d'une année (expériences et résultats provenant des recherches du CTFT au Burkina Faso) (N° 128).

Birot, Y. et J. Galabert. 1970, a,b Economie de l'eau et travail du sol dans les plantations forestières de zone sèche. Application à la zone sahélo-soudanaise. Bois et forêts des Tropiques N° 129 3-20, 130 12-22.

G x Essais de plantation au Burkina Faso. Les auteurs décrivent les techniques de préparation du sol propres à assurer une capacité de rétention en eau et une pénétration des racines optimales (N° 129).

G x Préparation du sol propre à assurer une bonne économie de l'eau (N° 130).

Birot, Y. et 1972 J. Galabert. Bioclimatologie et dynamique de l'eau dans une plantation d'Eucalyptus. C.T.F.T. (Centre technique forestier tropical), Cahiers scientifiques N° 1. 51 p.

H xx Description de la croissance et de la dynamique de l'eau dans une plantation d'E. crebra au Burkina Faso, de la 2ème à la 4ème année suivant la plantation. Les réserves d'eau du sol diminuent, ce qui amène à la conclusion que certains arbres de la plantation mourront vraisemblablement avec l'âge. Cela n'est

toutefois pas une preuve que les eucalyptus assèchent trop le sol pour leur propre croissance. Ce pourrait être un exemple de plantation d'eucalyptus sur une station ne leur convenant pas (trop sèche ou mal préparée).

Bolotin, M. 1963 — Growth of eucalypts on dune sand as related to soil profile. Contributions on Eucalyptus in Israel II, Ilanot and Kiriat Hayim, Israel, 13-17.

H x A partir de deux plantations manquées d'E. gomphocephala et E. camaldulensis dans deux stations (toutes deux sur sable dunaire en Israël), l'auteur tire la conclusion que l'échec est dû à la présente d'un horizon induré à 1-2 mètres sous la surface du sol, qui empêche l'alimentation en eau des jeunes arbres lors des périodes sèches.

Callister, P. 1983 — Native shelterbelts protecting our trees while protecting our soil. Soil & Water, Issue No. 1 1983, 33-34.

D x L'auteur suggère de constituer des rideaux-abris avec une rangée d'essences à croissance rapide et une ou plusieurs rangées d'essences indigènes à croissance lente. Les eucalyptus pourraient être utilisés comme essence à croissance rapide. Cette idée découle d'expériences en Nouvelle-Zélande. Un certain nombre d'essences indigènes utiles sont indiquées.

Chaturvedi, A.N. 1976 — Eucalyptus in India. Indian Forester 102 (1) 57-63.

A x Cet article décrit les introductions d'eucalyptus en Inde, les essais et expérimentations, les techniques de plantation, etc. Des tables de croissance sont présentées pour les eucalyptus hybrides.

Chijioke, E.O. 1980 — Influences exercées par les essences à croissance rapide sur les sols des régions tropicales humides de plaine. Etude FAO: Forêts n° 21. 111 p.

G xx Cette étude traite de Gmelina arborea et Pinus caribaea en plantations exotiques. L'auteur souligne le risque d'épuisement du sol en éléments nutritifs dans les plantations à courte révolution, et recommande de procéder à intervalles réguliers à des analyses de fertilité du sol.

Chilvers, G.A. 1972 — The root pattern in a mixed eucalypt forest. Australian Journal of Botany 20 229-234.

G x Des études du système radiculaire dans une forêt mélangée d'E. fastigata/E. dalrympleana dans le sud-est de l'Australie montrent que les racines de deux espèces concurrentes s'entremêlent et pénètrent jusqu'au voisinage du tronc opposé.

Chinnamani, S.; 1965 — Gupte, S.C.; Rege, N.D. et P.K. Thomas. Run-off studies under different forest covers in the Nilgiris. Indian Forester 91 (8) 676-679.

H xxx Le ruissellement vers les cours d'eau a été mesuré en pourcentage de la pluviométrie pendant 7 ans sur une station d'une pente de 16 pour cent dans les monts Nilgiri en Inde méridionale. La pluviométrie annuelle est de 1 340 mm. L'expérience comportait 3 répétitions. Le ruissellement sur des stations couvertes d'E. globulus, Acacia mollissima et shola (forêt submontagnarde sempervirente) était à peine supérieur à 1 pour cent. Sur une lande à Cytisus scoparius il était moindre, et sur une prairie de graminées négligeable. Le ruissellement est en corrélation avec l'intensité des précipitations.

Claudot, M. 1956 — Influence de l'eucalyptus sur l'évolution des sols au Maroc. FAO, Sous-Commission de coordination des questions forestières méditerranéennes, Groupe de travail des eucalyptus, deuxième session, 25 et 26 mai 1956, Nice, France. 2 p.

N x Le sol a été analysé sous un peuplement d'E. camaldulensis au Maroc (conditions semi-arides). La matière organique se reconstitue lentement dans ce sol pauvre.

Cozzo, D. et 1969 — M.H.C.K. de Riveros. Registro de la caida de materia orgánica y elementos minerales en una plantación de ocho años de Eucalyptus camaldulensis. Paper for Primer Congreso Forestal Argentino, October 6-11 1969, 590-598.

N x Les caractéristiques du sol sous une plantation d'E. camaldulensis âgée de 8 ans, de 17 mètres de hauteur, et sous un pâturage de graminées ont été comparées. La teneur en matière organique sous le peuplement d'eucalyptus était environ deux fois plus élevée que dans le sol de prairie. La capillarité était plus élevée dans ce dernier, tandis que les teneurs en Ca, Mg et P ne différaient pas sensiblement. Pas de répétitions.

Crane, W.J.B. et R.J. Raison. Removal of phosphorus in logs when harvesting
1980 Eucalyptus delegatensis and Pinus radiata forests on short and long rotations. Australian Forestry 43 (4) 253-260.

N xxx Les exportations de P par la coupe de peuplements d'E. delegatensis et Pinus radiata sont comparées à divers âges d'exploitation. Un raccourcissement de la révolution accroît les quantités de P exportées par unité de volume de bois extrait pour les deux essences. Le rapport bois de coeur/aubier et la concentration d'éléments nutritifs dans ces deux sortes de bois sont discutés.

Crane, W.J.B. et R.J. Raison. The nutritional effect of short rotational
1983 silviculture. Silvicultura 8 (32) 670-672.

N xxx Mêmes présentation et discussion que dans Crane et Raison (1980). Les auteurs concluent également qu'E. delegatensis a une meilleure économie du phosphore que Pinus radiata, tout au moins après l'âge de 7 ans, lorsque le bois de coeur commence à se former chez l'eucalyptus.

Crane, W.J.B.; Raison, R.J.; Nicholls, G.H. et Godkin, C.M. The effect of
1981 rotational age on the phosphorus requirements of forest plantations. Proceedings of Australian Forest Nutrition Workshop "Productivity in Perpetuity", 1981 Canberra.

N xxx Les mêmes résultats sont présentés que dans Crane et Raison (1980, 1983).

Cromer, R.N. et E.R. Williams. Biomass and nutrient accumulation in a planted
1981 E. globulus (Labill) fertilizer trial. Proceedings of Australian Forest Nutrition Workshop "Productivity in Perpetuity", 1981, Canberra.

N x Résumé. Une plantation d'E. globulus dans le Victoria (Australie) a été traitée avec quatre doses différentes d'engrais azoté et phosphaté peu après la mise en place. L'effet positif de la fertilisation sur la croissance est manifeste.

Cromer, R.N.; Williams, E. et D. Tompkins. Biomass and nutrient uptake in
1983 fertilized E. globulus. Silvicultura 8 (32) 672-674.

N x Même expérimentation que dans Cromer et Williams (1981). La production de bois de fût, en pourcentage de la production totale de biomasse, et l'absorption de N et P dans la tige, se sont accrues après la fertilisation.

Dabral, B.G. 1970 — Preliminary observations on potential water requirement in Pinus roxburghii, Eucalyptus citriodora, Populus casale (488) and Dalbergia latifolia. Indian Forester 96 (10) 775-780.

H xx L'évapotranspiration a été mesurée sur Pinus roxburghii (2 sujets), Populus casale (3), E. citriodora (3) et Dalbergia latifolia (4), à l'aide d'un évapotranspiromètre. L'âge des arbres s'étageait entre 6 et 22 ans. Les résultats ne sont pas concluants en raison du petit nombre de répétitions et de l'incertitude quant à leur applicabilité à des arbres adultes sur le terrain.

Dabral, B. G. et B.K. Subba Rao. 1968 — Interception studies in chir and teak plantations - New Forest. Indian Forester 94 (7) 541-551.

H xx L'écoulement sur écorce et la précipitation au sol ont été mesurés pendant 3 ans dans des peuplements de Pinus roxburghii et Tectona grandis du Nord de l'Inde. L'interception a été évaluée respectivement à 27,0 pour cent et 20,8 pour cent de la précipitation. Etant donné que l'écoulement sur écorce n'a été mesuré que sur un petit nombre d'échantillons les résultats n'ont qu'une valeur indicative.

Dabral, B.G. et B.K. Subba Rao. 1969 — Interception studies in sal (Shorea robusta) and khair (Acacia catechu) plantations - New Forest. Indian Forester 95 (5) 314-323.

H xx L'écoulement sur écorce et la précipitation au sol ont été mesurés pendant 3 ans dans des peuplements de sal (Shorea robusta) et de khair (Acacia catechu) du Nord de l'Inde. L'interception a été évaluée respectivement à 38,2 pour cent et 20,8 pour cent de la précipitation. Etant donné que l'écoulement sur écorce n'a été mesuré que sur un petit nombre d'échantillons les résultats n'ont qu'une valeur indicative.

Dietz, J.M.; Couto, E.A.; Alfenas C., A.; Faccini, A et G.F. da Silva. 1975 — Efeitos de duas plantações de florestas homogêneas sobre populações de mamíferos pequenos. Brasil Florestal No. 23 54-57.

E xxx Le nombre d'individus et d'espèces de petits mammifères a été déterminé dans 4 différentes forêts de l'Etat de Minas Gerais (Brésil). Dans une plantation d'Araucaria angustifolia âgée de 31 ans il y avait un nombre d'individus significativement plus élevé que dans une plantation d'E. saligna de 10 ans et que dans des forêts naturelles âgées de 15 et 52 ans. Le nombre d'espèces variait entre 2 et 3 dans les différents peuplements.

Evans, J. 1982 — Plantation Forestry in the Tropics. Clarendon Press, Oxford. 472 pp.

G xx Présente un panorama complet de la question des reboisements dans les tropiques.

Feller, M.C. 1978 — Nutrient movement into soils beneath eucalypt and exotic conifer forests in southern central Victoria. Australian Journal of Ecology 3 (4) 357-372.

N x Résumé. L'importance du lessivage des éléments nutritifs de la couverture morte dans deux forêts d'eucalyptus du Centre-Sud du Victoria en Australie (E. obliqua et E. regnans) est plus grande que dans deux plantations voisines de Pinus radiata et Pseudotsuga menziesii. La conclusion de l'auteur que ce fait est imputable aux pertes d'eau par interception plus grandes dans les conifères semble fondée.

Feller, M.C. 1981 — Water balance in Eucalyptus regnans, E. obliqua, and Pinus radiata forests in Victoria. Australian Forestry 44 (3) 153-161.

N x Résumé. Les mouvements de l'eau de pluie dans différentes forêts, sous forme de précipitation au sol, écoulement sur écorce, intrception par les cimes des arbres et par la couverture morte, et percolation à travers la couverture morte, ont été mesurés dans deux forêts d'eucalyptus (E. regnans et E. obliqua) et une plantation de Pinus radiata situées à une soixantaine de kilomètres au nord-est de Melbourne (Australie). L'interception était plus importante dans les pins que dans la forêt d'eucalyptus. Aucun chiffre n'est fourni dans ce résumé.

Florence, R.G. 1962 — et R.L. Crocker. Analysis of blackbutt (Eucalyptus pilularis Sm.) seedling growth in a blackbutt forest soil. Ecology 43 (4) 670-679.

E xx Un sol portant des semis d'E. pilularis dans un peuplement naturel de cette essence a été irradié, ce qui a entraîné un développement du chevelu radiculaire, la croissance des pousses, etc. La raison peut en être un antagonisme direct de microorganismes.

Florenzano, G. 1956 — Ricerche sui terreni coltivati ad eucalitti (II: Ricerche microbiologiche e biochimiche). Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale 1 133-152.

E xx L'activité microbienne dans des sols sous E. botryoides, E. gomphocephala, E. maidenii (Latium, Italie) et E. camaldulensis (Sardaigne, Italie) est décrite et comparée à un témoin de sol non cultivé. Les bactéries, notamment nitrifiantes, sont peu abondantes sous les eucalyptus, tandis que la densité des champignons y est plus grande.

Florenzano, G.
1959

Ulteriori indagini sui terreni coltivati ad eucalitti (II: Ricerche microbiologiche). Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale 2 243-258.

E xx Une recherche identique à celle décrite dans Florenzano (1956), menée sur un sol sableux sous un peuplement d'E. camaldulensis en Sicile, a donné un résultat différent. L'activité microbienne était plus grande dans le sol portant des eucalyptus que dans celui de la parcelle témoin. La différence n'est pas analysée.

Fox, A.V.
1977

Boisement de sites difficiles, terres érodées et fortes pentes: étude spéciale du plateau de Mambilla. FAO, document pour le Colloque sur le boisement des zones de savane, Kaduna, Nigéria 1976, 10 p.

D x Un paragraphe de ce document (p. 207) donne un exemple des problèmes auxquels on peut se heurter en utilisant E. grandis comme bois de feu au Nigéria. Cette essence a un recrû maximum au plus fort de la saison des pluies, époque à laquelle les produits forestiers ne sont pas demandés. Si on la coupe à la saison sèche, on a une mortalité des souches allant jusqu'à 25 pour cent.

Friend, G.R.
1982

Mammal populations in exotic pine plantations and indigenous eucalypt forests in Gippsland, Victoria. Australian Forestry 45 (1) 3-18.

E xx Résumé. La comparaison entre des plantations de Pinus radiata de différents âges et des forêts naturelles d'eucalyptus contiguës en Australie a montré que la richesse en espèces des populations de mammifères était moindre dans les plantations de pins, et la proportion d'espèces introduites plus élevée.

George, M.
1978

Interception, stemflow and throughfall in a Eucalyptus hybrid plantation. Indian Forester 104 (11) 719-726.

H xx L'écoulement sur écorce et la précipitation au sol ont été mesurés pendant 12 mois dans une plantation d'eucalyptus hybride âgée de 6 ans dans le Nord de l'Inde. On a estimé

l'interception à 11,65 pour cent de la précipitation, qui a été de 1 671,1 mm. Il n'y a pas eu de comparaison avec d'autres essences dans la même expérimentation.

George, M. 1979 — Nutrient return by stemflow, throughfall and rainwater in a Eucalyptus hybrid plantation. Indian Forester 105 (7) 493-499.

N x La concentration d'éléments nutritifs a été mesurée dans l'écoulement sur écorce, la précipitation au sol et l'eau de pluie dans une plantation d'eucalyptus hybride. Cette concentration décroît dans l'ordre suivant: écoulement sur écorce > précipitation au sol > eau de pluie. L'apport total d'éléments nutritifs (kg/ha/an) a été calculé, également dans la chute de litière. Aucune comparaison avec d'autres essences.

George, M. 1982 — Litter production and nutrient return in Eucalyptus hybrid plantations. Indian Forester 108 (4) 253-260.

N x On a mesuré la concentration d'éléments nutritifs dans la litière et la chute totale de litière dans trois plantations d'eucalyptus hybride âgées de 5, 7 et 10 ans, et on a comparé les apports des différents éléments dans l'écoulement sur écorce, la précipitation au sol et la pluie directe. Etude assez complète.

George, M. 1984 — Research needs in Eucalyptus plantations. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

A xx L'auteur recommande de laisser l'écorce sur place lors de la coupe dans les plantations d'eucalyptus hybride, étant donné qu'elle renferme une proportion relativement élevée des éléments nutritifs emmagasinés dans la biomasse.

Ghosh, R.C.; 1978 — Kaul, O.N. et B.K. Subba Rao. Some aspects of water relations and nutrition in Eucalyptus plantations. Indian Forester 104 (7) 517-524.

A x Les auteurs citent 14 références concernant l'interception, le ruissellement, etc. dans les plantations d'eucalyptus. Leur conclusion est que les accusations à propos des effets défavorables des plantations d'eucalyptus en Inde sont quelque peu exagérées.

Ghosh, R.C.; 1980 — Kaul, O.N. et B.K. Subba Rao. Eucalyptus plantations (Water Relation and Nutrition), Forest Research Institute & Colleges, Dehra Dun, India. Extension Series 5. 12 pp.

A x Même article que Ghosh *et al*. (1978).

Giordano, E. 1969 Osservazioni sull'apparato radicale dell'Eucalyptus globulus Labill. Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale 10 135-147.

G x L'auteur décrit les systèmes radiculaires de deux plants d'E. globulus poussant sur un sol sableux en Italie. Ils étaient âgés de 7 ans, et étaient plantés à 2 x 2 m d'intervalle. La plupart des racines se trouvaient dans les 1 ou 2 mètres à partir du tronc, et à une profondeur de 1 mètre. Il s'était formé un pivot, long de 4 et 2 mètres respectivement.

Giulimondi, G. 1960 Observations on cultivated soils adjacent to eucalypt windbreaks. FAO, Joint Sub-Commission on Mediterranean Forestry Problems, Working Party on Eucalyptus, fourth session, April-May 1960, Lisbon. 3 pp.

E xx Présente les résultats de l'étude rapportée dans Giulimondi et Giovanni (1963).

Giulimondi, G. 1961 Windbreaks, Shelterbelts, Influence on Crops (Italy). Second World Eucalyptus Conference, São Paulo, August 13-28 1961. Reports and Documents Vol. II 1004-1007.

E xx Présente les résultats de l'étude rapportée dans Giulimondi et Giovanni (1963).

Giulimondi, G., Funiciello, M. et G.M. Arru. 1956 Ricerche sui terreni coltivati ad eucalitti (I: Ricerche chimico fisiche). Pubblicazion del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale 1 111-130.

E x Les caractéristiques physiques et chimiques ont été étudiées dans 11 profils de sol sous des peuplements d'E. camaldulensis, E. maidenii et E. botryoides dans deux localités d'Italie (Latium et Arborea, Sicile). 10 profils témoins ont également été étudiés. Etant donné que le résultat s'appuie sur des mesures faites une seule fois, la conclusion que les eucalyptus ont causé une dégradation chimique du sol n'est pas bien fondée.

Giulimondi, G. et E. Giovanni. 1963 Ricerche sull'umidità del terreno in prossimità dei frangiventi di eucalitto. Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale 7 55-80.

E xxx Les effets de deux brise-vent d'eucalyptus sur l'humidité du sol et sur la végétation ont été étudiés en Italie durant 3 années. Ces brise-vent consistaient en bandes de 5 mètres de large d'E. x trabutii de 52 ans à Catane, et de 30 ans dans le Latium. Les sols étaient formés respectivement de limon argileux et de sable. La diminution de l'humidité du sol était sensible à 10 et 20 mètres des différents brise-vent. Dans le Latium les rendements de luzerne diminuaient jusqu'à 20 mètres du brise-vent.

Gonzales E. E. 1973 Efecto de la localización de los fertilizantes fosfatados en el crecimento del eucalipto. Paper for FAO/IUFRO International Symposium on Forest Fertilization, December 3-7 1973, Paris.

N x On a utilisé NPK, NP, PK et P dans un essai de fertilisation sur E. globulus dans la région humide du nord-est de l'Espagne. Les engrais étaient soit (1) placés au fond des trous de plantation, soit (2) mélangés à la terre. N était toujours épandu en surface. Réponse positive (non significative) pour P seulement. Le mélange de l'engrais avec la terre s'est avéré la meilleure méthode.

Gonzales E. E. 1983 Conteúdo mineral de Eucalyptus globulus, Pinus pinea e Quercus suber e a biociclagem de alumínio destas espécies nos mesmos tipos de solo e clima mediterrâneo. Silvicultura 8 (32) 675-678.

N x La teneur en éléments nutritifs du bois et de l'écorce a été mesurée en Espagne sur E. globulus, Pinus pinea et Quercus suber (pluviométrie annuelle 400-800 mm, 5 mois secs). L'auteur conclut que tous les éléments, à l'exception de N et P, exportés par la coupe d'E. globulus dans cette localité seront remplacés par la nature (altération des roches et dépôts atmosphériques; référence pour ce dernier processus).

Goor A. Y. et Barney C. W. 1976 Forest Tree Planting in Arid Zones. 2nd ed. New York. The Ronald Press Co. 504 pp.

G xx Ouvrage général sur les reboisements en zones arides.

Greenwood, E.A.N. et J.D. Beresford. 1979 Evaporation from vegetation in landscapes developing secondary salinity using the ventilated-chamber technique. I. Comparative transpiration from juvenile Eucalyptus above saline groundwater seeps. Journal of Hydrology 42 (3/4) 369-382.

H xx Des études de transpiration ont été conduites près de Perth (Australie) sur plusieurs espèces d'eucalyptus. Sur l'une des stations le taux de transpiration s'est élevé au cours de l'été jusqu'à trois fois le taux initial, ce qui semble indiquer que les racines avaient atteint une zone d'humidité élevée.

Gupta, A.C. et D.P. Raturi. Distribution of organic matter and nutrient
1984 content in a Eucalyptus hybrid plantation on lateritic soil in West Bengal. Indian Forester 110 (2) 122-128.

N x On a déterminé les teneurs en éléments nutritifs et la biomasse des parties aériennes d'une plantation d'eucalyptus hybride âgée de 10 ans au Bengale occidental (Inde). La principale conclusion, basée sur un échantillon de 6 arbres seulement, est que l'absorption relativement faible de phosphore dans cette expérience est le résultat de la pauvreté intrinsèque du sol.

Gupta, A.C.; Ullah, W. et V.C. Issac. A note on some soil moisture changes
1975 under permanent vegetative cover. Indian Forester 101 (9) 523-526.

H x Une étude sur l'humidité du sol a été menée pendant 3 mois sous une végétation de "forêt d'eucalyptus, jachère, forêt d'acacia et prairie" dans une région semi-aride du district de Jodhpur (Inde). La description de l'étude et les résultats ne sont pas complets, de sorte qu'il est impossible d'évaluer les conclusions qui en sont tirées.

Gupta, R.K. Role of Eucalyptus in soil and water conservation vis-a-vis
1984,a social/agroforestry. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

A xx Analyse complète et bien ordonnée des résultats de recherches sur l'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs par les eucalyptus. Aucune conclusion n'est tirée, ni ne pouvait l'être, sur l'impact écologique des eucalyptus à partir des 50 références citées (dont 49 en Inde).

Gupta, R.K. Role of Eucalyptus in soil and water conservation vis-à-vis
1984,b social and agroforestry. Workshop on Eucalyptus plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceeding 113-134.

A xx Identique à Gupta (1984, a).

Haag, H.P.; Rocha Filho, J.V. de C.; de Oliveira, G.D. et J.R. Sarruge.
1983 Influencia de florestas implantadas de Eucalyptus e Pinus sobre las propriedades químicas do solo. Silvicultura 8 (32) 643-645.

N x On a déterminé les teneurs en éléments chimiques dans la litière et le sol (0-20 cm) sous des plantations d'E. citriodora âgées de 20 ans et de Pinus taeda âgées de 24 ans dans l'Etat de São Paulo (Brésil). La matière organique du sol et les teneurs en K^{+}, Mg^{++} et Al^{+++} étaient plus élevées sous les eucalyptus. Aucun détail sur la taille de l'expérience.

Haag, H.P.; Sarruge, J.R.; de Oliveira, G.D.; Poggiani, F. et C.A. Ferreira.
1976 Análise foliar em cinco espécies de eucaliptos. IPEF No. 13 99-116.

N x Des analyses foliaires et des mesures d'accroissements sur des sujets de 8 ans d'E. grandis, E. microcorys, E. resinifera, E. robusta et E. saligna dans l'Etat de São Paulo (Brésil) ont montré une corrélation entre une concentration élevée d'éléments nutritifs dans les feuilles et l'accroissement.

Henrici, M. Transpiration of South African plant associations (Part II:
1947 Indigenous and exotic trees under semi-arid conditions). Union of South Africa, Department of Agriculture, Botany and Plant Pathology, Series No. 9, Science Bulletin No. 248. 19 pp.

H x Le taux de transpiration a été mesuré sur un mélange équilibré d'essences indigènes et introduites en Afrique du Sud. Aucune tendance nette n'a pu être décelée d'après les résultats. Les mécanismes de régulation de l'utilisation de l'eau par les plantes sont discutés en détail.

Herbert, M.A. The response of Eucalyptus grandis to fertilizing with nitrogen,
1983 phosphorus, potassium and dolomitic lime on a Mispah soil series. South African Forestry Journal No. 124 4-12.

N x Résumé. La forme des fûts et le rendement en bois ont été améliorés 8 ans après une application d'engrais NPK et de chaux dolomitique sur de jeunes plants d'E. grandis en Afrique du Sud, par comparaison avec des plants non fertilisés.

Heth, D. et R. Karschon. Interception of rainfall by Eucalyptus camaldulensis
1963 Dehn. Contributions on Eucalyptus in Israël II, Ilanot and Kiriat Hayim, Israel, 7-12.

H x L'écoulement sur écorce et la précipitation au sol ont été mesurés pendant 2 ans dans deux plantations d'E. camaldulensis âgées de 7 et 8 ans, dans la plaine côtière centrale d'Israël (pluviométrie annuelle 600 mm). On a évalué l'interception à 14,3 pour cent de la précipitation la première année, et 14,9 pour cent la seconde année. L'écoulement sur écorce a été mesuré sur 6 arbres.

Hingston,F.J. 1977 Sources of, and sinks for, nutrients in forest ecosystems. Proceedings Nutrient Cycling in Indigenous Forest Ecosystems Symposium. CSIRO Division of Range Management. Perth, Western Australia.

N x Analyse utile sur le cycle des éléments nutritifs dans les écosystèmes forestiers.

Hopmans, P., Flinn, D.W. et P.W. Farrell. Nitrogen mineralisation in a sandy 1980 soil under native eucalypt forest and exotic pine plantations in relation to moisture content. Communications in Soil Science and Plant Analysis 11 (1) 71-79.

N x Résumé. On a constaté que l'ammonification était fortement liée à l'humidité du sol, et légèrement plus élevée dans un sol sableux sous une forêt naturelle d'eucalyptus en Australie que sous une plantation de Pinus radiata.

Hurditch, W.J., Charley, J.L. et B.N. Richards. Sulphur cycling in forests of 1980 Fraser Islands and coastal New South Wales. Sulphur in Australia. Paper delivered at workshop convened by the Australian National Committee for SCOPE "Sulphur Cycling in Australian Ecosystems", April 3-4 1978, Canberra.

N x Description de la concentration et de la circulation du soufre dans deux peuplements naturels d'eucalyptus d'Australie (E. pilularis et E. microcorys).

Irion, G. 1981 Holzplantage im Urwald? Naturwissenschaften 68 (3) 133-138.

D x Résumé. L'auteur émet l'opinion que le sol d'un périmètre de reboisement pour le bois à pâte dans la région de l'Amazone au Brésil sera complètement épuisé après la seconde génération d'E. deglupta et autres essences à croissance rapide.

Iyengar, N.S. et N.S.S. Narayana. Eucalyptus: To grow or not to grow. Workshop
1984 on Eucalyptus Plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceedings 223-227.

D x Les auteurs présentent un modèle économique dans lequel sont inclus les coûts et bénéfices privés et sociaux des plantations d'eucalyptus. Inde.

Jackson, J.K. Use of fertilizers in savanna plantations. Voluntary paper
1977 prepared for the FAO/DANIDA Training course on Forest Nursery and Establishment Techniques for African Savannas which was cancelled. Lecture notes 152-159.

N x Exposé général sur la fertilisation des eucalyptus dans les savanes africaines. Décrit la carence en bore. Présente trois tableaux avec des résultats d'essais de fertilisation.

Jacobs, M.R. Growth habit of Eucalyptus. Forest and Timber Bureau, Canberra,
1955 Australia. 262 pp.

G xx Passe en revue de manière complète les données sur le mode de croissance des eucalyptus.

Jamet, R. Evolution des principales caractéristiques des sols des reboi-
1975 sements de Loudima (Congo). Cahier ORSTOM, série Pédologie N° 8 (3/4) 235-253.

N xx Certaines caractéristiques chimiques du sol ont été mesurées sous des peuplements d'eucalyptus de 5-15 ans, des peuplements de pins de 6-11 ans et une végétation de savane dans le Sud du Congo. La teneur en matière organique était inférieure sous les peuplements d'eucalyptus, et très inférieure sous ceux de pins, à celle trouvée dans le sol de savane. Le rapport C/N était identique dans tous les sols et plus les plantations étaient âgées plus le sol superficiel était acide.

Jamet, R. Evolution des principales caractéristiques des sols des reboi-
1975 sements de Pointe-Noire. ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique Outre-Mer), Centre de Brazzaville. 38 p.

N xx Les caractéristiques chimiques du sol ont été mesurées sous des plantations de pins et d'eucalyptus datant de 1953 sur des sols sableux pauvres impropres à l'agriculture de la plaine côtière du Congo aux environs de Pointe-Noire. Il y avait une meilleure humification de la matière organique sous les eucalyptus, un certain degré d'acidification, de podzolisation et de diminution du calcium sous les pins, et une augmentation du potassium sous les eucalyptus.

Jensen, A. Martin Shelterbelt effects in tropical and temperate zones.
1983 International Development Research Centre Manuscript Reports IDRC-MR80e 61 pp.

A xxx Bonne analyse générale sur les effets des rideaux-abris.

Jha, M.N. et P. Pande. Impact on growing Eucalyptus and sal monocultures on
1984 soil in natural sal area of Doon Valley. Indian Forester 110 (1) 16-22.

N xx On a comparé les caractéristiques du sol sous des plantations de Shorea robusta et d'E. camaldulensis et une forêt naturelle de Shorea robusta dans le nord de l'Inde. Bien que cette étude soit limitée, les auteurs concluent que les monocultures d'eucalyptus n'ont pas dégradé le sol de la forêt naturelle de sal, et s'avèrent même à cet égard supérieures à la monoculture de sal.

Jha, M.N. et R.K. Rathore. A study of soil moisture patterns in Eucalyptus and
1981 pine stands. Indian Forester 107 (7) 420-425.

H x La diminution de l'humidité du sol sous un peuplement d'eucalyptus et de pins a été suivie pendant l'intermousson dans une expérience sans répétitions, dans le Nord de l'Inde. Les résultats ne peuvent être généralisés.

Jocqué, C.A. Malawi. A terrestrial baselines study on the Viphya Pulpmill Project Area. FAO Internal Report.

E xx Contient une comparaison utile des populations d'araignées Nephila et de l'activité des termites entre une forêt claire à Brachystegia et une plantation d'eucalyptus.

Kadeba, O. et E.A. Aduayi. Soil properties under Pinus caribaea stands and
1984 natural tropical savanna vegetation. Submitted for publication
(sous presse) by Elsevier (Amsterdam).

N ? Non vu.

Kaplan, J. Water Relations in Eucalypts. Second World Eucalyptus
1961 Conference, São Paulo, August 12-28 1961. Reports and Documents Vol. II 1008-1014.

A x L'auteur passe en revue les résultats de recherches concernant les effets des plantations d'eucalyptus sur l'eau du sol, et conclut que les besoins de recherche sont considérables.

Kaplan, J. 1974 — The ecology of Eucalyptus camaldulensis Dehn. in Israel. La-Yaaran 24 (1-2) 7-2, 31-30.

H xx Résumé en anglais. Dans une étude des relations hydriques pour deux provenances d'E. camaldulensis en Israël, l'auteur a constaté que la transpiration était sous la dépendance de l'humidité du sol.

Karschon, R. 1961 — Soil Evolution Affected by Eucalypts. Second World Eucalyptus Conference, São Paulo , August 13-28 1961. Reports and Documents Vol. II 897-910.

A x L'auteur passe en revue les recherches concernant l'influence des eucalyptus sur l'évolution des sols et les effets des engrais sur les différentes espèces (2 parties). Il donne d'autre part son opinion sur les recherches qui sont nécessaires.

Karschon, R. 1970 — The effect of irrigation upon growth of Eucalyptus camaldulensis Dehn. FAO, Committee on the Coordination of Mediterranean Forestry Research, Fourth session, September 29-30 1970, Ankara, Turkey. 5 pp.

H xx Dans une plantation d'E. camaldulensis âgée de 5 ans à Ilanot (Israël), le matériel sur pied a été plus que doublé par une irrigation poursuivie pendant 4 ans. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 600 mm, et la dose d'irrigation annuelle était d'environ 525 mm.

Karschon, R. 1971 — The effect of coppice cutting on the water balance of Eucalyptus camaldulensis Dehn. Israel Journal of Agricultural Research 21 (3) 115-126.

H xx On a mesuré la recharge et la diminution de l'humidité du sol pendant 4 ans dans un taillis d'E. camaldulensis (années 0 à 4 après la coupe) et dans une clairière voisine. Le taillis de 4 ans transpire autant que la plantation avant la coupe. L'évapotranspiration calculée était très basse dans la première année du taillis.

Karschon, R. et D. Heth. 1967 — The water balance of a plantation of Eucalyptus camaldulensis Dehn. Contributions on Eucalyptus in Israel III, Ilanot and Kiriat Hayim, Israel, 7-34, and La-Yaaran 17 (1).

H xxx L'écoulement sur écorce, la précipitation au sol, la précipitation totale et la recharge de l'humidité du sol ont été mesurés dans un peuplement d'E. camaldulensis de 9-12 ans et dans une clairière voisine, dans la plaine côtière centrale d'Israël. Il apparaît que la plantation consomme plus d'eau

que la clairière (par évapotranspiration), mais aucune comparaison avec d'autres essences forestières n'a été faite.

Khan, M.A.R. 1980 — A comparative account of the avifauna of the sholas and the neighbouring plantations in the Nilgiris. Paper in Symposium on Ecology and Conservation of Birds and Mammals in India. Journal of the Bombay Natural History Society 75 1028-1035.

E xx Résumé. On a comparé la faune aviaire dans la shola (forêt submontagnarde sempervirente) et dans des plantations voisines d'eucalyptus et d'acacias, dans les monts Nilgiri (Inde), et constaté qu'elle était relativement plus pauvre dans les plantations que dans la shola.

Krishnamurthy, B.V. 1984 — Ecological destruction through Government's policies. Workshop on Eucalyptus Plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceedings 9-16.

D x Sans citer aucun rapport scientifique ou autre publication, l'auteur affirme que la plantation d'eucalyptus "détruit les terres de manière permanente". Karnataka, Inde.

Krishnamurthy, R. et V. Clement. 1984 — Response of Eucalyptus "hybrid" (Mysore gum) to major nutrient elements. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

N x Dans un essai de fertilisation d'eucalyptus hybride ("hybride de Mysore") dans le Sud de l'Inde, la mortalité lors d'une sécheresse inhabituelle de mars à juin 1983 n'a été que de 11,25 pour cent dans les plantations ayant reçu des engrais, alors qu'elle atteignait 80 pour cent dans les plantations contiguës sans engrais.

Kushalappa, K.A. 1984 — Nutrient status in Eucalyptus "hybrid" monoculture. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

N xx Résumé. Les teneurs en éléments nutritifs du sol ont été mesurées 1 an avant et 5 ans après la plantation d'eucalyptus hybride, dans l'Etat de Karnataka au sud de l'Inde. Il n'est pas possible d'après ce résumé de porter un jugement sur la conclusion que les monocultures d'eucalyptus ne sont pas endommageables pour les sols dans les zones sèches. L'étude semble avoir été bien planifiée.

de la Lama, G. G. Atlas del eucalipto. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias e Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza Vol. 5 (annexe) Madrid 82 pp.

Lamb, D. 1973 A suspected phosphorus and potassium deficiency in the tropical eucalypt E. deglupta. Paper for FAO/IUFRO International Symposium on Forest Fertilization, December 3-7 1973, Paris.

N x La conclusion d'un essai de fertilisation avec E. deglupta en Papouasie Nouvelle-Guinée a été la suivante: les symptômes de carence observés ne sont pas de bons instruments de diagnostic, étant donné qu'il peut y avoir des carences multiples.

Lee, R 1980 Forest Hydrology Columbia University Press, New York.

H x Bon ouvrage général sur l'hydrologie forestière.

Lepoutre, B. et T. Mandouri. 1976 Résultats des essais préliminaires de fumure minérale sur Pinus pinaster et Eucalyptus camaldulensis en Mamora. Annales de la recherche forestière au Maroc 16 65-89

N x Présente les résultats d'un essai de fertilisation au Maroc.

Liani, A. 1959 Ulteriori indagini sui terreni coltivati ad eucalitti (1: Ricerche chimico fisiche). Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale 2 193-201.

E xx La teneur en matière organique et autres données ont été étudiées dans des sols sous E. camaldulensis âgé de 27 ans (avec et sans sous-étage), Pinus pinea et cultures agricoles en Sicile. La teneur moyenne en matière organique dans l'horizon A était respectivement de 20,33, 10,45, 7,54 et 2,92 kg/m^2. Avant plantation les sols étaient semblables.

Lima, W.P. 1976 Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. IPEF No. 13 75-90.

H xxx L'écoulement sur écorce et la précipitation au sol ont été mesurés au cours de l'été 1974-75 dans des plantations de 6 ans d'E. saligna (15,4 m) et de Pinus caribaea var. caribaea (6 m) de l'Etat de São Paulo (Brésil). L'interception a été estimée respectivement à 12,2 pour cent et 6,6 pour cent de la précipitation.

./.

Lima, W.P. 1983 Soil Moisture Regime in Tropical Pine Plantations and in "Cerrado" Vegetation in the State of São Paulo, Brazil. IPEF No. 23 5-10.

H x L'humidité du sol a été mesurée pendant 24 mois sous Pinus oocarpa, P. caribaea var. hondurensis et en terrain découvert dans le "cerrado" brésilien. La seule différence statistiquement significative est une humidité plus élevée dans l'horizon superficiel du sol de cerrado que dans l'horizon superficiel sous le peuplement de pins.

Lima, W.P. et D. Barbin. Efeito de plantações de Eucalyptus e Pinus sobre a 1975 qualidade da agua da chuva. IPEF No. 11 23-35.

N xx Les propriétés physiques et chimiques de l'eau de pluie ont été déterminées sous E. saligna et Pinus caribaea var. caribaea âgés de 5 ans dans l'Etat de São Paulo (Brésil). La conductivité, la couleur et la turbidité sont en règle générale davantage modifiées sous le peuplement d'eucalyptus que sous le peuplement de pins, et davantage dans l'écoulement sur écorce que dans la précipitation au sol.

Lima, W.P. et O. Freire. Evapotranspiração em plantações de eucalipto e 1976 de pinheiro, e em vegetação herbácea natural. IPEF No. 12 103-107.

H xx L'évapotranspiration dans des peuplements d'E. saligna et Pinus caribaea var. caribaea et en terrain découvert (graminées) dans l'Etat de São Paulo (Brésil) a été estimée respectivement à 206, 211 et 196 mm. Les auteurs concluent que le reboisement en eucalyptus ou en pins n'a aucun effet défavorable sur cette station.

Lima, W.P. 1983 Consumo de água em florestas de eucalipto. Paper for the symposium "Solos-nutrição em Florestas de Eucalipto", October 1-2 1983, Piracicaba, Brazil. 15 pp.

H xxx Analyse critique des relations hydriques et de la consommation d'eau pour un certain nombre d'espèces d'eucalyptus dans des forêts naturelles d'Australie.

Lima, W.P. 1984 Hidrología de florestas implantadas. Paper for XI Seminario sobre Actualidades e Perspectivas Florestais: A Influencia das florestas no Manejo de Bacias Hidrogràficas, February 7-8 1984, Curitiba, Brazil. 11 pp.

H xx Discute de l'hydrologie des plantations, et attribue la différence dans la consommation apparente en grande partie à des différences dans l'interception. Mentionne Eucalyptus, Pseudotsuga et Pinus, ainsi que Gaultheria et Pteridium.

Lima, W.P. et O'Loughlin, E.M. The hydrology of eucalypt forests in Australia - a (in press) review. Submitted for publication in IPEF (Piracicaba, Brazil).

H xxx Analyse complète et utile de la littérature sur les forêts d'eucalyptus en Australie.

Loumeto, J.J. 1983 Note succincte sur l'exportation minérale dans un peuplement d'Eucalyptus âgés de 7 ans 2 mois. C.T.F.T. (Centre technique forestier tropical), Centre du Congo. 11 p.

N x Les teneurs en éléments nutritifs ont été mesurées dans les différentes parties de deux pieds d'eucalyptus hybride ayant poussé sur un sol sableux au Congo. L'échantillon est trop réduit pour généraliser le résultat.

Lozano, J.M. et F. Velasco. 1981 Evolución del humus y de la microflora telúrica por la implantacion de Eucalyptus camaldulensis Dehn. en bosques autóctonos de Extremadura. Anales de Edafología y Agrobiología 40 (5/6) 711-720.

N xx Résumé. On a comparé les sols sous un peuplement d'E. camaldulensis et sous un peuplement mélangé de Quercus sp. en Espagne. Le sol sous les eucalyptus était plus acide, avait une capacité d'échange de cations plus faible, etc. D'autre part, l'humus évoluait du type mull au type moder, ce qui n'était pas le cas sous le peuplement mélangé de Quercus.

Lubrano, L. 1967 Researches on the nutrient-demand of some species of Eucalyptus. FAO World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance, April 14-25 1967, Canberra. Voluntary Paper 1801-1826.

N x On a mesuré la teneur en éléments nutritifs dans différentes parties de sujets d'E. globulus, E. viminalis et E. ovata en Italie. La restitution d'éléments nutritifs à partir des arbres par les résidus a également été étudiée. La teneur en K est plus élevée chez E. globulus et E. viminalis que chez E. ovata. Pour les deux premières espèces environ 60 pour cent de N, P, K et Ca sont emmagasinés dans la biomasse aérienne exportée lors de la coupe.

Maclaren, P. 1983 Chemical welfare in the forest. A Review of Allelopathy with regard to New Zealand. New Zealand Journal of Forestry 28 (1) 73-92.

E xxx L'auteur cite 5 articles traitant des effets allélopathiques exercés par E. camaldulensis, E. pilularis, E. microtheca et E. globulus sur les graminées. Aucun chiffre n'est fourni.

Madgewick, H.A.I.; Beets, P. et S. Gallagher. 1981 Dry matter accumulation, nutrient and energy content of the above ground portion of 4-year-old stands of Eucalyptus nitens and E. fastigata. New Zealand Journal of Forestry Science 11 (1) 53-59.

N xxx La quantité d'éléments nutritifs exportée par unité d'énergie du bois récoltée a été calculée pour des peuplements d'E. fastigata et E. nitens de 4 ans et de Pinus radiata de 17 ans, dans l'île du Nord de Nouvelle-Zélande. Le coût en azote estimé est approximativement 4 fois plus élevé pour E. fastigata que pour les pins, tandis que le coût en phosphore est presque le même.

Mathew, C.; Hameed, A. et R.S. Aiyer. 1984 Effect on Eucalyptus monoculture on the physico-chemical properties and erodibility of some forest soils. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31, 1984 Kerala, India.

E x Résumé. Les caractéristiques physiques et chimiques du sol ont été étudiées sous des plantations d'eucalyptus âgées de 15, 10 et 5 ans et sous une forêt naturelle contiguë. Le taux d'érosion a également été mesuré. Aucun chiffre n'est fourni dans ce résumé.

Mathur, H.N.; Babu, R.; Joshie, P. et B. Singh. 1976 Effect of clearfelling and reforestation on runoff and peak rates in small watersheds. Indian Forester 102 (4) 219-226.

H xxx Le ruissellement vers les cours d'eau a été comparé pendant 5 ans entre un bassin versant couvert de brousse naturelle et un autre portant un mélange de plantations d'E. grandis et E. camaldulensis, dans le Nord de l'Inde. Ces bassins versants avaient au préalable été étalonnés pendant 8 ans. Le bassin versant reboisé a montré une réduction de 28 pour cent du ruissellement et de 73 pour cent des débits de pointe.

Mathur, H.N.; Jain, N. et S.S. Sajwan. Ground cover and undergrowth in
1980 Eucalyptus, brushwood and sal forest - an ecological assessment. Van Vigyan 18 (3/4) 56-61.

E x Les caractéristiques du sous-bois sont décrites dans un peuplement naturel de Shorea robusta, une brousse secondaire et une plantation mélangée d'E. grandis et E. camadulensis dans la zone humide du Nord de l'Inde. Aucune conclusion ferme ne peut être tirée du fait que deux des stations n'étaient pas protégées contre le pâturage.

Mathur, H.N. et S.F.H. Raj. Groundwater regime under blue-gum et Osamund
1980 Nilgiris - initial observations. Indian Forester 106 (8) 547-554.

H x Les auteurs ont mesuré la hauteur de la nappe phréatique dans 5 puits situés dans un bassin versant des monts Nilgiri (Inde). Aucune conclusion ne peut en être tirée, sinon que les niveaux diffèrent.

Mathur, H.N.; Raj. S.F.H. et S. Naithani. Ground water quality (pH) under
1984 different vegetative covers at Osamund (Nilgiri Hills). Indian Forester 110 (2) 110-116.

H xx Le pH a été mesuré dans l'eau du sol tous les 15 jours pendant 2 ans sous une plantation d'E. globulus de 14 ans, dans la shola (forêt submontagnarde sempervirente) et sous une prairie. On n'a trouvé aucune différence significative entre ces différents couverts végétaux. Le pH fluctue au cours de l'année, entre 5,6 environ à la saison des pluies et 6,5 à la saison sèche.

Mathur, H.N. et P. Soni. Comparative account on undergrowth under Eucalyptus
1983 and Sal in three different localities of Doon Valley. Indian Forester 109 (12) 882-890.

E x Lors d'un inventaire on a comparé par paires la végétation de sous-bois dans 6 peuplements (Shorea robusta et eucalyptus hybride). Aucune conclusion ferme ne peut être tirée étant donné que les stations n'étaient pas protégées soit contre le pâturage soit contre la récolte de bois de feu. Nord de l'Inde.

Mathur, N.K. et A.K. Sharma. Eucalyptus in reclamation of saline and alkaline
1984 soils in India. Indian Forester 110 (1) 9-15.

D x Les auteurs plaident en faveur de l'emploi des eucalyptus en Inde sur des stations à alcalinité ou salinité élevée, étant donné qu'on trouve chez certaines espèces des provenances résistantes à la salure. Certaines de ces espèces sont mentionnées.

Mathur, R.S.; Sharma, K.K. et M.Y. Ansari. Economics of *Eucalyptus* plantations
1984 under Agro-forestry. Indian Forester 110 (2) 171-201.

D x Les auteurs présentent les résultats économiques obtenus avec différentes combinaisons de cultures, y compris eucalyptus, en agroforesterie dans l'Uttar Pradesh (Inde).

Mello do A., H. Contribuição ao estudo do consumo de água por *Eucalyptus alba*
1961 Reinw., *Piptadenia rigida* Benth. e *Astronium urundeuva* (Fr. Allem.) Engl. Second World Eucalyptus Conference, São Paulo, August 13-28 1961. Reports and Documents Vol. II 1015-1029.

H xx Le taux de transpiration d'*E. alba* âgé de 8 ans a été mesuré en conditions de laboratoire pendant 1 an dans l'Etat de São Paulo (Brésil). Il était maximum durant l'été (saison des pluies), et minimum durant l'hiver (saison sèche).

Metro, A. et G. de Beaucorps. L'influence de peuplement d'*Eucalyptus* sur l'évo-
1954 lution des sols sablonneux du Rharb. FAO, Sous-Commission de coordination des questions forestières méditerranéennes, Voyage d'étude des eucalyptus au Maroc. Octobre 22-30 1954. 11 p.

N xx On a mesuré les teneurs en éléments nutritifs dans la biomasse aérienne et dans un sol pauvre sous des peuplements d'*E. camaldulensis* et *E. gomphocephala*, dans la zone semi-aride du Maroc (pluviométrie annuelle 500 mm). K était exporté dans des proportions telles qu'il devait être remplacé par un apport d'engrais.

Molina, F.; Bara, S. et P. Ruiz-Zorilla. El Monte Gallego aspectos relacionados
1977 con su fertilidad. Hoja Tecnica. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid. 14 pp.

N x Les auteurs passent en revue les résultats des mesures de teneurs en éléments nutritifs dans la biomasse d'*E. globulus*, *E. camaldulensis* et *E. gomphocephala*, et dans le sol au-dessous en Galicie (Espagne). Ils concluent que le sol n'est pas appauvri en éléments nutritifs par les eucalyptus.

del Moral, R. et C.H. Muller. Fog drip: a mechanism of toxin transport from
1969 *Eucalyptus globulus*. Bulletin of the Torrey Botanical Club 96 (4) 467-475.

E xxx Les gouttelettes de brouillard tombant dans un peuplement d'*E. globulus* en Californie ont été recueillies et appliquées sur différentes espèces herbacées. L'inhibition de la croissance dans certains cas ne peut être attribuée qu'à des effets allélopathiques.

del Moral, R. et Muller, C.H. The allelopathic effects of Eucalyptus camaldulensis. American Midland Naturalist 83 254-282.
1970

E xxx L'absence de végétation annuelle au voisinage de peuplements naturalisés d'E. camaldulensis ne peut s'expliquer par des différences dans le sol, le pâturage, l'éclairement, etc. Des extraits de terpènes et de toxines hydrosolubles se sont avérés toxiques pour les graines en germination de plantes annuelles sur des sols lourds, mais non sur des sables. 10 toxines phénoliques ont été isolées, et 5 identifiées.

Morani, V. Observations effectuées en Italie sur l'évolution du sol produit par les eucalyptus. FAO, Sous-Commission de coordination des questions forestières méditerranéennes, Groupe de travail des eucalyptus, deuxième session, 25 et 26 mai 1956, Nice, France. 4 p.
1956

A x L'auteur analyse les publications relatives à des études de sols sous des peuplements d'eucalyptus dans la région méditerranéenne. Pas de conclusions.

Muller, C.H. The role of chemical inhibition (allelopathy) in vegetational composition. Bulletin of the Torrey Botanical Club 93 (5) 332-351.
1966

E x L'auteur émet l'opinion que des métabolites hautement volatils provenant par exemple d'eucalyptus sont produits par la plante elle-même. Extraits en grande quantité ils peuvent avoir des effets allélopathiques. Aucun chiffre ou témoignage précis.

Mullette, K.J. Hannon, N.J. et A.G.L. Elliott. Insoluble phosphorus usage by Eucalyptus. Plant and Soil 41 199-205.
1974

N xx dans une expérience bien conçue des plants d'E. gummifera ont montré une remarquable réponse de croissance aux phosphates insolubles. Les auteurs indiquent que cela pourrait s'appliquer également à d'autres eucalyptus.

Muthana, K.D. et G.D. Arora. Performance of Eucalyptus camaldulensis on shallow and deep sandy loam of Pali (W. Rajastan). Annals of Arid Zone 15 (4) 297-300.
1976

D x E. camaldulensis a été planté dans un sol superficiel (horizon induré à 15 cm) et dans un sol profond (horizon induré à 70-180 cm) au Rajahstan (Inde). Après une dizaine d'années les arbres avaient une hauteur de 5 m dans le sol superficiel, 15 m dans le sol profond. La différence de croissance en hauteur était déjà visible dans la première année suivant la plantation.

Nakhdjvani, F. 1972 — Recherches sur les effets des brise-vent dans la région du Khouzistan. Revue forestière française 24 (3) 203-207.

D x Des brise-vent d'E. camaldulensis, Tamarix stricta et Acacia arabica ont été plantés en 1959 dans le Khouzistan (Iran). Les résultats d'expérimentations avec des brise-vent artificiels sont présentés.

Neginhal, S.G. 1980 — Ecological impact of afforestation at the Ranibennur Blackbuck Sanctuary. Journal of the Bombay National History Society 75 (Suppl.) 1254-1258.

E xx Les reboisements en E. tereticornis progressivement mis en place depuis 1958 dans le Karnataka (Inde) ont eu pour résultat la reconstitution de populations pratiquement éteintes d'antilope cervicapre (Antilope cervicapra), de grande outarde indienne (Choriotis nigriceps) et de loup indien (Canis Lupus pallipes). L'auteur recommande que des zones découvertes soient conservées pour permettre à ces populations de se maintenir. Aucun chiffre n'est fourni dans ce résumé.

Neumann, F.G. 1979 — Beetle communities in eucalyptus and pine forests in north-eastern Victoria. Australian Forest Research 9 (4) 277-293.

E x Les communautés de coléoptères ont été étudiées pendant deux ans dans des forêts d'eucalyptus et des plantations de Pinus radiata en Australie. Leur diversité est significativement plus élevée dans la forêt d'eucalyptus que dans le peuplement âgé de pins.

Nshubemuki, L. et F.G.R. Somi. 1979 — Water use by Eucalyptus - Observations and probable exaggerations. Tanzania Silvicultur Technical Note (New Series) No. 44. 13 pp.

A x Les auteurs passent objectivement en revue la littérature sur la consommation d'eau des eucalyptus. Ils concluent qu'il faudrait davantage de recherches sur ce sujet, et des comparaisons avec d'autres essences.

Nzindukiyimana, A. et I. Sabasajya. 1977 — Lutte antiérosive à Gikongoro: le boisement de la colline Mujyejuru. Bulletin agricole du Rwanda 10 (1) 36-38.

H x Résumé. Le reboisement des collines du Rwanda pour lutter contre l'érosion comporte des plantations d'eucalyptus à moyenne altitude. Le résumé ne dit rien sur les résultats.

Osara, N.A. et P. Mikola. 1975 — O impacto das plantações de eucaliptos no equilíbrio das águas. Paper in booklet (O Eucalipto a Ecologia) prepared for the Aracrus Pulp and Paper Co., Brasil. 35-36.

D x Les auteurs répondent aux critiques concernant les besoins élevés en eau des plantations d'eucalyptus au Brésil. Aucune preuve n'est fournie à l'appui.

Pacífico, H., V. 1961 A cultura do eucalipto no melhoramento do solo. Second World Eucalyptus Conference, São Paulo, August 13-28 1961. Vol. Reports and Documents II 911-918.

N x Après exploitation d'un peuplement d'E. tereticornis de 37 ans à Araras (Brésil), on a obtenu d'abondantes récoltes de café. Les résultats des analyses de sol sont présentés. La conclusion de l'auteur, que les eucalyptus ont amélioré le sol, ne peut pas être déduite des données fournies.

Pan, C.S. 1974 Rainfall interception in (1) a Eucalyptus robusta plantation; (2) Cunninghamia lanceolata plantations with different degrees of thinning; (3) Calocedrus (Libocedrus) formosana plantations with different spacings. Taiwan Forestry Research Institute, Bulletin No. 253; 255; 256. 8 + 12 + 11 pp.

H x Résumé. L'interception a été estimée durant la saison des pluies de 1972 dans des peuplements d'E. robusta âgés de 14-20 ans et de quelques autres essences, plantés à divers espacements, à Taïwan. On a trouvé une interception moindre avec un espacement de 1,5 x 2 m qu'avec 1,5 x 1,5 m ou 2 x 2 m. Aucune donnée chiffrée dans ce résumé.

Pereira, H.C. 1973 Land use and water resources. Cambridge University Press, London. 246 pp.

G xx Ouvrage complet sur les ressources en eau et l'aménagement des bassins versants. Nombreuses références.

Piccolo, A.L.G.; da Silva, E.M.P.; Lelis, G.J.; Ramos, M.R. et M.S. Kachan. 1972,a Plants invading plantations of Eucalyptus robusta. Revista de Agricultura, Piracicaba, Brazil 47 (2) 81-85.

E x On a recensé les espèces végétales envahissant une plantation d'E. robusta âgée de 52 ans. Les plus abondantes de ces espèces se reproduisent par voie végétative. Aucune comparaison avec d'autres essences forestières.

Piccolo, A.L.G.; Vidal, R.; Cattai, I.A.; Lordello, M.H.; Hebling, R.M.D.;
1972,b Baldoni, M. de L. et S.A. Bonini. Plants tolerant of shading by Eucalyptus alba. Revista de Agricultura, Piracicaba, Brazil 47 (2) 87-90.

E x Nouvelles observations comparées avec celles de Piccolo et al. (1972, a). Une comparaison de la végétation de sous-bois dans des peuplements d'E. alba, E. microcorys et E. robusta ne montre aucune différence significative.

Pochon, J. et H. de Barjac et Faivre-Amiot. L'influence de plantations
1959 d'Eucalyptus au Maroc sur la microflore et l'humus du sol. Annales de l'Institut Pasteur No. 3 403-406.

N x Les auteurs émettent l'hypothèse que la minéralisation rapide, sans formation d'humus, sous un peuplement d'E. camaldulensis âgé de 10 ans est due à un déséquilibre dans la microflore du sol. Le texte renferme des contradictions, et il n'est rien dit sur la méthode employée dans l'étude.

Poggiani, F. Ciclo de Nutrientes e productividade de Floresta Implantada.
1976 Silvicultura 1 (3) 45-48.

N x Discussion générale sur le cycle des éléments nutritifs et la productivité de la forêt.

Poggiani, F.; do Couto, H.T.Z.; Corradini, L. et E.C.M. Fazzio. Exportação de
1983,a biomassa e nutrientes atravès da exportação dos troncos e das copas de um povoamento de Eucalyptus saligna. IPEF No. 25. 37-39.

N xxx Les teneurs en éléments nutritifs ont été mesurées dans les différentes parties des arbres (50 arbres ont été analysés) dans une plantation d'E. saligna de 8 ans dans l'Etat de São Paulo (Brésil). Le mètre supérieur du sol a également été analysé. Environ 30 pour cent des macroéléments se trouvent dans les branches et dans les feuilles. Le sol est très pauvre, et on peut présumer qu'il y a carence de P et K, du fait que la teneur de ces éléments dans la biomasse est deux fois plus élevée que dans le sol.

Poggiani, F.; do Couto, H.T.Z. et W. Suiter Filho. Biomass and Nutrient
1983,b Estimates in Short Rotation Intensively Cultured Plantation of Eucalyptus grandis. IPEF No. 23 37-42.

N xxx Les teneurs en éléments nutritifs ont été mesurées dans la biomasse d'une plantation d'E. grandis âgée de 2 ans et demi dans l'Etat de Minas Gerais (Brésil). 24 arbres ont été analysés. Les analyses de teneur en éléments nutritifs dans le

1,2 mètre supérieur du sol, par comparaison avec les teneurs dans la biomasse, montrent que le sol est très pauvre en P et K.

Poggiani, F.; 1983,c — do Couto, H.T.Z. et W. Suiter Filho. Biomass and Nutrient Estimates in Short Rotation Intensively Cultured Plantation of Eucalyptus grandis. Silvicultura 8 (32) 648-651.

N xxx Même article que Poggiani et al. (1983, b).

Poupon, H. 1972 — Description des appareils aérien et souterrain d'Eucalyptus camaldulensis Dehn. introduit en Tunisie du nord. Cahier ORSTOM, série Biologie N° 17 47-59.

G x L'auteur décrit les parties aériennes et souterraines d'une population d'E. camaldulensis à Zerniza (Tunisie). Il s'est formé un pivot de 2,20 m, d'un diamètre de 55 cm à 0,80 m de profondeur. La plupart des racines de moins de 1 cm de diamètre se trouvent dans les 25 cm supérieurs du sol.

Prasad, U. 1984 — Trial of Eucalyptus hybrids FRI-4 and FRI-5 on different doses of manure. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

N x Résumé. Un essai de fertilisation a été réalisé avec deux provenances d'eucalyptus hybride dans l'Etat de Bihar (Inde). En même temps que la croissance a été activée, la mortalité a diminué dans les parcelles fertilisées. Aucun chiffre n'est fourni dans ce résumé.

Puri, D.N.; 1984 — Vishwanatham, M.K. et S.K. Dhyani. Eucalyptus - a boon for social/agro-forestry. Workshop on Eucalyptus plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceedings 99-105.

D x Contribution partiale à la discussion sur les eucalyptus en Inde. Pro-eucalyptus.

Raison, R.J. et 1981 — W.J.B. Crane. Nutritional costs of shortened rotations in plantation forestry. 17th IUFRO World Congress, 1981. Kyoto. Proceedings Div. I, 63-72.

N xxx Les exportations de P dans des peuplements d'E. delegatensis et Pinus radiata sont comparées pour différents âges d'exploitation. Un raccourcissement de la révolution accroît la quantité de P exportée par unité de bois récoltée pour les deux essences. Le rapport bois de coeur/aubier et la concentration d'éléments nutritifs dans les deux types de bois

sont discutés. E. delegatensis a, en théorie, un rendement nutritionnel (consommation d'éléments nutritifs par unité de bois anhydre produite) meilleur que le pin, et le rendement relatif s'accroît progressivement avec l'âge.

Raison, R.J.; Khanna, P.K. et W.J.B. Crane. Effects on intensified harvesting
1982
on rates of nitrogen and phosphorus removal from Pinus radiata and Eucalyptus forests in Australia and New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science 12 (2) 394-403.

N xxx Les teneurs en éléments nutritifs ont été mesurées dans les différentes parties des arbres dans deux plantations d'E. globulus de 9,5 ans et deux plantations de Pinus radiata de 8 ans et 29 ans. Les résultats amènent à la conclusion que l'exploitation d'arbres entiers accroît l'exportation d'éléments nutritifs d'environ 100 pour cent.

Raj, F.H.; Rajan, N.C.M. et K. Rajagopal. Some hydrological investigations on
1984
Blue gum at Osamund (Nilgiris). Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

H ? Résumé. Des recherches ont été menées depuis 1977 sur divers aspects du cycle de l'eau sous un peuplement d'E. globulus dans les monts Nilgiri (Inde). Aucun résultat n'est présenté dans ce résumé.

Rajamannar, A.; Ramaswami, P.P. et Krishnamoorthy. Certain soil characteristics
1978
of plantation soils of different altitude. Indian Journal of Forestry 1 (3) 185-188.

N x Des caractéristiques des sols (pH, carbone organique, etc.) sont présentées pour 51 échantillons dans des plantations d'E. tereticornis et E. globulus en Inde. Aucune analyse ou comparaison avec d'autres genres botaniques n'a été faite.

Rajvanshi, A; Soni, S.; Kukreti, U.D. et M.M. Srivastava. A comparative study
1983
of undergrowth of sal forest and eucalyptus plantation at Golatappar-Dehra Dun during rainy season. Indian Journal of Forestry 6 (2) 117-119.

E xx On a comparé la végétation de sous-bois dans une plantation d'eucalyptus de 13 ans et une forêt naturelle de sal (shorea robusta) dans la région humide du Nord de l'Inde au cours de la saison des pluies. Le nombre d'espèces était plus élevé dans la plantation que dans la forêt de sal: 65 au lieu de 37. Il y avait davantage d'espèces annuelles dans la première, et d'espèces pérennes dans la seconde. 10 échantillons par peuplement.

Rakhmanov, V.V. 1980
(The hydrological role of eucalypts.) Lesnoe Khozyai'stvo No. 5 24-28 (Ru).

A x Résumé. L'article analyse la littérature russe, indienne et australienne sur la consommation d'eau des eucalyptus.

Rambelli, A. 1959,a
Qualche indagine sulla microbiologia dei terreni coltivati ad eucalitto. Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale 3 217-234.

E xx On a comparé la microflore du sol sous des eucalyptus et sous des cultures agricoles. On a trouvé une population microbienne plus importante sous les eucalyptus. En revanche le sol sous les eucalyptus était devenu plus acide par comparaison avec 4 ans auparavant. L'auteur conclut que la plantation d'eucalyptus tend à entraîner une dégradation des caractéristiques biochimiques et chimiques du sol. Italie.

Rambelli, A. 1959,b
Contributo allo studio dei micromiceti nei terreni coltivati ad eucalitto. Pubblicazioni del Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale 3 235-253.

E x La microflore de champignons sous quelques peuplements d'eucalyptus en Italie est décrite en détail.

Rambelli, A. 1960
Research into microfungi in soils planted with Eucalyptus. FAO, Joint Sub-Commission on Mediterranean Forestry Problems, Working Party on Eucalyptus, fourth session. April-May 1960, Lisbon. 5 pp.

E xx Les micromycètes ont été identifiés sous différents peuplements d'eucalyptus autour de Rome. Il n'y a pas de variation significative dans les populations microbiennes, bien qu'il y ait des différences notables dans le type de sous-bois.

Rao, A.L. 1984
Eucalyptus in Andhra Pradesh. Indian Forester 110 (1) 1-8.

D x L'auteur décrit l'arrière-plan historique et la recherche sur les eucalyptus dans l'Andhra Pradesh (Inde). Rien sur les effets écologiques des plantations d'eucalyptus.

Rao, P.R. 1984
The Eucalyptus controversy. Workshop on Eucalyptus plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceedings 1-8.

D x L'auteur décrit les points de discorde, tant sur le plan écologique que sur le plan social, au sujet des plantations d'eucalyptus en Inde.

Ray, M.P. 1970 — Preliminary observations on stem-flow, etc., in Alstonia scholaris and Shorea robusta plantations at Arabari, West Bengal. Indian Forester 96 (7) 482-493.

H x L'interception varie entre 22 pour cent et 36 pour cent de la précipitation dans un peuplement âgé de 16-17 ans, de 8 mètres de hauteur, d'Alstonia scholaris au Bengale occidental (Inde). Pour un peuplement de Shorea robusta de même âge et même hauteur l'interception varie entre 17 et 35 pour cent.

Ray, R.M. 1984 — Eucalyptus - a perspective. Indian Forester 110 (1) 86-89.

D x L'auteur souligne les avantages et les inconvénients de plantations d'eucalyptus à grande échelle en Inde. Pas de données chiffrées.

Rocha Filho, J.V. de C.; Haag, H.P.; Oliveira, G.D. de et R.A. Pitelli. 1978 — Ciclagem de nutrientes em florestas implantadas de Eucalyptus e Pinus. I. Distribuição no solo e na manta. Anais da Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz" 35 113-123.

N xx Les changements dans les teneurs en éléments nutritifs de sols sous E. citriodora et Pinus taeda ont été mesurés au Brésil. La teneur en carbone organique a augmenté sous ces deux essences. L'eucalyptus a fait augmenter la teneur du sol en K et Mg, tandis que le pin a accru l'Al échangeable dans les 10-20 cm supérieurs.

Rudrappa, T. 1984 — Allelopathic effects of Eucalyptus plantation. Workshop on Eucalyptus plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceedings 109-111.

E A xx L'auteur cite 5 références concernant les effets allélopathiques des eucalyptus.

Samraj, P; Chinnamani, S. et B. Haldorai. 1977 — Natural versus man-made forest in Nilgiris with special reference to run-off, soil loss and productivity. Indian Forester 103 (7) 460-465.

H xx Prolongement de l'étude sur les ruissellements dans les monts Nilgiri, au sud de l'Inde, rapportée par Chinnamani et al. (1965). Les résultats ont été les mêmes que dans l'étude précédente: faibles différences dans le ruissellement à partir d'E. globulus, Acacia mollissima, shola (forêt submontagnarde sempervirente), lande à Cytisus scoparius, et prairie naturelle de graminées.

Sarlin, P. 1963,a — L'eau et le sol. L'eau en forêt, en savane et dans les reboisements. Bois et forêts des tropiques N° 89 11-29.

H x L'auteur discute des relations entre le sol et l'eau dans les plantations d'eucalyptus au Congo.

Sarlin, P. 1963,b — Programme spécial FAO d'éducation et de formation en Afrique. FAO, Centre de perfectionnement sur les techniques de boisement en savane. Soudan, 9 novembre - 19 décembre 1963. Pédologie, Exposé N° 3: L'eau du sol.

N xx On a trouvé dans des plantations d'eucalyptus de la zone sèche du Congo une corrélation positive faible entre teneur en eau du sol et accroissement.

Schoenenberger, A. 1970 — Les données dendrographiques de la station expérimentale de Zerniza. Annales de l'Institut national de recherches forestières de Tunisie 4 (4). 28 p.

H x On a mesuré pendant deux ans la variation dans la croissance en diamètre de 2 sujets d'E. maideni, 2 d'E. camaldulensis, 1 de Pinus radiata et 1 de Pinus pinaster en Tunisie. On a constaté que la croissance était en relation avec l'eau disponible.

Schönau, A.P.G. 1981 — The effects of fertilizing on the foliar nutrient concentrations in Eucalyptus grandis. Fertilizer Research 2 73-82.

N x On a obtenu de nombreux changements dans les concentrations d'éléments nutritifs des feuilles à la suite d'un apport d'engrais dans un peuplement d'E. grandis en Afrique du Sud.

Schönau, A.P.G. 1982 — Additional effects of fertilizing on several foliar nutrient concentrations and ratios in Eucalyptus grandis. Fertilizer Research 3 385-397.

N x Dans un essai de fertilisation sur E. grandis en Afrique du Sud, on a constaté qu'un équilibre dans la fourniture de P et N avait une grande importance, et que Zn était l'oligo-élément le plus important.

Schönau, A.P.G. 1983 — Seasonal changes in foliar nutrient content of E. grandis. Silvicultura 8 (32) 683-685.

N x Une étude menée en Afrique du Sud a montré que la croissance en hauteur de plantations d'E. grandis de 1-3 ans était en relation étroite avec les teneurs en éléments nutritifs des feuilles (à l'exception de Fe) et avec la pluviométrie. L'auteur suggère que les analyses foliaires en vue de l'application d'engrais soient effectuées au cours de la saison de végétation.

Schönau, A.P.G. et M.A. Herbert. Relationship between Growth Rate and Foliar
1982 Concentrations of Nitrogen, Phosphorus and Potassium for Eucalyptus grandis. Suid-Afrikaanse Bosboutydskrif Nr. 120 19-23.

N x Dans un essai de fertilisation en Afrique du Sud, on a conclu que les teneurs des feuilles en N, P et K devaient, pour une bonne croissance d'E. grandis, être respectivement de 2,0, 0,17 et 0,70 pour cent.

Sharma, S.K.; Prasad, K.G. et G.N. Gupta. Growth of Eucalyptus grandis with
1984 fertiliser treatments on a severely truncated soil. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

N x Résumé présentant les résultats d'un essai de fertilisation sur E. grandis dans le Sud de l'Inde. Le matériel et la méthode sont bien décrits.

Shiva, V. et J. Bandyopadhyay. Eucalyptus - a disastrous tree for India. The
1983 Ecologist 13 No. 5 184-187.

A x Analyse partiale des effets écologiques des plantations d'eucalyptus en Inde. Anti-eucalyptus.

Shiva, V. and Bandyopadhyay, J. Ecological audit of eucalyptus cultivation.
1984

A x A biased review and analysis of the ecological effects of eucalypt planting in India.

Shiva, V.; Somasekhara, R.S.T. et J. Bandyopadhyay. The ecology of eucalyptus
1984 and farm forestry policy in rainfed areas. Workshop on Eucalyptus plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceedings 191-222.

A x Analyse partiale contenant 35 références sur la consommation en eau et en éléments nutritifs des eucalyptus. Les auteurs concluent que ceux-ci sont "un désastre" pour l'Inde.

Shyam, S.S. Forest development and Eucalyptus controversy in Karnataka.
1984 Workshop on Eucalyptus plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceedings 45-72.

D x L'auteur relate la polémique au sujet des plantations d'eucalyptus dans l'Etat de Karnataka (Inde). Une bonne analyse du problème est présentée p. 63-67.

Singh, K. et S.P. Banerjee. State of Soil Aggregation Under Plantation Forests
1980 and Agriculture in Alluvial Soil of Doon Valley. Van Vigyan 18 (3 & 4) 31-38.

E x On a étudié les macro-agrégats dans des sols sous différentes essences de reboisement en Inde. Le pourcentage d'agrégats de plus de 2 mm est maximum dans le sol sous Shorea robusta, suivi par Tectona grandis, Eucalyptus sp., Acacia catechu et Pinus roxburghii. La formation d'agrégats est bien meilleure dans les sols forestiers que dans un champ cultivé voisin. La méthode d'échantillonnage n'est pas décrite.

Singh, R.P.
1982
Net primary productivity and productive structure of Eucalyptus tereticornis Smith plantations grown in Gangetic plain. Indian Forester 108 (4) 261-269.

N x La chute de litière a été mesurée dans des plantations d'E. tereticornis âgées de 5, 6, 7, 8 et 9 ans dans la plaine du Gange en Inde. La production annuelle varie entre 2,33 t/ha à 5 ans et 5,42 t/ha à 9 ans. Le peuplement étudié a produit presque autant de litière qu'un peuplement de Tectona grandis âgé de 40 ans dans une autre étude, et près de 50 pour cent de plus qu'un peuplement de Shorea robusta de 40 ans, également dans une autre étude.

Singh, R.P.
1984
Nutrient cycle in Eucalyptus tereticornis Smith plantations Indian Forester 110 (1) 76-85.

N xx On a déterminé les teneurs en azote, phosphore et calcium dans différentes parties d'arbres provenant de plantations d'E. tereticornis âgées de 5, 6, 7, 8 et 9 ans dans la plaine du Gange en Inde. On n'a trouvé aucune différence cohérente dans la concentration de chacun de ces éléments aux différents âges.

Singhal, R.M.
1984
Effect of growing Eucalyptus on the status of soil organic matter on Dehra Dun forests. Abstract of Paper for National Seminar on Eucalyptus, January 30-31 1984, Kerala, India.

E x Résumé. Même étude que Singhal et al. (1975).

Singhal, R.M.; Banerjee, S.P. et T.C. Pathak. Effect of Eucalyptus mono-
1975 culture on the status of soil organic matter in natural sal (Shorea robusta) zone in Doon Valley. Indian Forester 101 (12) 730-737.

E xx On a mesuré la matière organique à différentes profondeurs dans une plantation d'eucalyptus et une plantation de sal (Shorea robusta) 5 ans et 10 ans après la mise en place. Il n'est pas possible d'apprécier la conclusion (recyclage plus rapide et plus facile des éléments nutritifs sous les eucalyptus que sous le sal, et par conséquent risque de perte de matière organique sous ce dernier), étant donné que le nombre d'échantillons n'est pas indiqué.

Smith, M.K. 1974 — Throughfall Stemflow and Interception in Pine and Eucalypt Forest. Australian Forestry 36 (3) 190-197.

H xx Dans une étude limitée (petit nombre d'échantillons), on a évalué l'interception à 18,7 pour cent de la précipitation dans un peuplement mûr de Pinus radiata âgé d'environ 35 ans, et à 10,6 pour cent dans une forêt naturelle d'eucalyptus à maturité. Nouvelle-Galles du Sud (Australie).

Soulères, G. 1961 — Eléments concernant la sylviculture des boisements d'eucalyptus (Maroc). Second World Eucalyptus Conference, São Paulo, August 13-28 1961. Reports and Documents Vol. I 715-736.

H x Cité par Karschon (1970). Non consulté.

Stein, A.H. 1952 — Nota sobre los resultados obtenidos en otros Países en las experiencias acerca de la influencia del Eucalyptus sobre la cubierta forestal de las hoyas hidrográficas y sobre el mejoramiento del suelo con su aplicación a la misma materia en Chile. Paper from "Mision Forestal de la FAO", No. 9. Santiago de Chile.

H x L'auteur passe en revue les recherches menées sur les eucalyptus à haute altitude avec une pluviométrie élevée. L'expérience montre au Chili que si l'on emploie des eucalyptus (ici E. globulus) pour prévenir l'érosion, il faut les planter à large écartement (environ 200 arbres/ha), ou les irriguer pour stimuler la pousse du sous-étage.

Steyn, D.J. 1977 — Occupation and Use of the Eucalyptus Plantations in the Tzaneen Area by Indigenous Birds. South Africa Forestry Journal No. 100 56-60.

E xxx L'avifaune est décrite dans quelques plantations d'E. grandis âgées de moins de 25 ans dans le nord-est du Transvaal. Ces plantations ne sont pas considérées comme stériles et impropres à la vie aviaire, mais certaines espèces d'oiseaux en ont été "chassées". Aucun chiffre n'est fourni.

Stibbe, E. 1975 — Soil moisture depletion in summer by an eucalyptus grove in a desert area. Agro-Ecosystems (2) 117-126.

H ? L'humidité du sol a été mesurée durant la saison sèche dans la zone radiculaire principale d'un boisement d'E. occidentalis dans une région désertique d'Israël (pluviométrie annuelle 200 mm). Les racines extraient l'humidité du sol principalement à la saison où il pleut.

Story, R. 1967 — Pasture patterns and associated soil water in partially cleared woodland. Australian Journal of Botany 15 175-187.

E xx Des cercles dépourvus de végétation autour de pieds d'Acacia, Casuarina et Eucalyptus en Australie occidentale ne sont pas dus à la concurrence des racines des arbres; du moins n'a-t-on pu en trouver aucune preuve dans l'étude poussée qui a été menée. On pense que des exsudats chimiques pourraient en être responsables.

Subba Rao, B.K. 1984 — Impact on Eucalyptus plantations on locality factors. Workshop on Eucalyptus plantation, June 29 1984, Bangalore, India. Papers and Proceedings 171-190.

A x L'auteur cite 32 références et fait une analyse raisonnée concernant les besoins en eau et en éléments nutritifs des eucalyptus. Il souligne la nécessité de nouvelles recherches. Pro-eucalyptus.

Thomas, P.K.; 1972 — Chandrasekhar, K. et B. Haldorai. An estimate of transpiration by Eucalyptus globulus from Nilgiris watershed. Indian Forester 98 (2) 168-172.

H x Le modèle utilisé pour évaluer la transpiration chez E. globulus dans les monts Nilgiri (Inde) ne donne aucune garantie de confiance. Les résultats et les conclusions sont par conséquent dépourvus d'intérêt.

Tiwari, K.M. 1983 — Soil and water conservation - need for better management in the country. Indian Forester 109 (11) 775-780.

D x L'auteur affirme que le reboisement résout en partie le problème des pertes en eau inutiles en Inde. Il mentionne différentes espèces d'eucalyptus qui sont intéressantes à cet égard, n'étant pas broutées par le bétail.

Tiwari, K.M. et R.S. Mathur. Water consumption and nutrient uptake by
1983 eucalypts. Indian Forester 109 (12) 851-860.

A x Les auteurs résument certaines publications sur la consommation d'eau et d'éléments nutritifs des eucalyptus. Des références choisies ils concluent que la fertilité du sol est améliorée sous une plantation d'eucalyptus mais qu'il n'y a pas de preuves scientifiques que les plantations abaissent le plan d'eau.

Turner, J. Nitrogen and phosphorus distributions in naturally regenerated
1980 Eucalyptus spp. and planted Douglas-fir. Australian Forest Research 10 (3) 289-294.

N x Résumé. Indique les teneurs en azote et en phosphore dans la biomasse aérienne et dans le sol sous des régénérations naturelles d'Eucalyptus spp. et sous une plantation de douglas en Nouvelle-Galles du Sud (Australie)

Turner, J. et J. Kelly. Soil chemical properties under naturally regenerated
1977 Eucalyptus spp and planted Douglas-fir. Australian Forest Research 7 (3) 163-172.

N x Résumé. Les propriétés chimiques du sol ont été comparées sous une plantation de Pseudotsuga menziesii âgée de 50 ans et sous une forêt d'Eucalyptus spp. régénérée naturellement en Nouvelle-Galles du Sud (Australie). Les résultats ont amené les auteurs à la conclusion que le douglas, dans cette station, n'a pas eu d'effet défavorable sur les propriétés chimiques du sol. Il n'est pas possible d'apprécier la valeur de cette conclusion d'après le résumé.

Turner, J. et M.J. Lambert. Nutrient cycling within a 27-year-old Eucalyptus
1983 grandis plantation in New South Wales. Forest Ecology and Management 6 (2) 155-168.

N x Résumé. La distribution de la matière organique et des éléments nutritifs a été mesurée dans une plantation d'E. grandis âgée de 27 ans, dans la région humide de la Nouvelle-Galles du Sud (Australie). Un système d'aménagement est proposé sur la base des résultats.

Van Lill, W.S.; Kruger, F.J. et D.B. Van Wyk. The effect of afforestation
1980 with Eucalyptus grandis Hill ex Maiden and Pinus patula Schlecht. et Cham. on streamflow from experimental catchments at Mokobulaan, Transvaal. Journal of Hydrology 48 107-118.

H xxx Etude critique de bassins versants au Transvaal (Afrique du Sud), comparant E. grandis, Pinus patula et scrub naturel après 12 ans d'étalonnage. Le reboisement en eucalyptus a eu une influence sur le débit des cours d'eau après 3 années de pluviométrie comprise entre 300 et 380 mm. Il est trop tôt pour avoir des résultats concluants avec les pins.

Velasco de P., F. et Lozano C., J.M. Cambios sinecológicos de la microflora
1979 telurica asociados a las repoblaciones forestales con especies exóticas. Anales de Edafología y Agrobiología 38 (5/6) 871-879.

E xx Résumé. On a étudié les propriétés du sol sous un boisement de Castanea sativa (forêt climax) et sous des plantations d'E. globulus et de Pinus radiata dans la zone humide du Nord de l'Espagne. Il y a acidification sous les plantations, et la microflore totale diminue. Le résumé ne fournit pas de données sur la méthode employée.

Walter, H.;Harnickell, E. et D. Mueller-Dombois. Climate-diagram Maps of the
1975 Individual Continents and the Ecological Climatic Regions of the Earth. Supplement to the Vegetation Monographs. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 36 pp (with 14 figures), 9 maps.

G xx Donne une image détaillée du climat dans le monde entier.

Wise, P.K. et M.G. Pitman. Nutrient removal and replacement associated with
1981 short rotation eucalypt plantations. Australian Forestry 44 (3) 142-152.

N xxx On a calculé le coût réel de remplacement des éléments nutritifs exportés dans des plantations typiques de différentes espèces d'eucalyptus âgées de 10 ans en Nouvelle-Galles du Sud (Australie). Dans une forêt spontanée exploitée pour le sciage la quantité d'éléments nutritifs exportée par unité de bois sec est égale à 6 pour cent de celle associée à une exploitation par arbres entiers dans des plantations à courte révolution.

Woinarski, J.K.Z. Birds of Eucalyptus plantation and adjacent natural forest.
1979 Australian Forestry 42 (4) 243-247.

E xx On a comparé la faune aviaire dans une plantation d'E. botryoides près de Melbourne (Australie) et dans une forêt mixte âgée d'E. dives contiguë. Sur les 48 espèces d'oiseaux recensées, 6 étaient de manière significative plus abondantes dans la plantation, et 9 étaient plus abondantes dans la forêt naturelle.

Yadav, J.S.P.; Banerjee, S.P.; Badola, K.C. et K. Singh. Changes in soil
1973 properties consequent upon growing Eucalyptus in a natural sal (Shorea robusta) area. Indian Journal of Agricultural Chemistry 6 (2) 109-115.

N x Résumé. Cinq années de monoculture d'eucalyptus dans la zone humide du Nord de l'Inde ont entraîné une migration vers le bas des éléments fins, un léger abaissement du pH et une légère diminution du phosphore assimilable, tandis que le potassium assimilable a diminué. Aucun chiffre dans ce résumé.

Zohar, Y. Growth of eucalypt on peat and its effect on soil nitrates.
1976 Agricultural Research Organization, Division of Forestry, Israel. Leaflet No. 57. 11 pp.

N xx On a constaté que les nitrates du sol étaient de manière significative moins abondants dans un sol de tourbière sous une plantation d'eucalyptus, par comparaison avec le sol en dehors de la plantation. Vallée de Hula (Israël). L'auteur propose l'emploi des eucalyptus comme moyen de réduire l'eutrophisation.

Zohar, Y. Plantation of eucalypt on Drained Lake Peat in the Hula Valley.
1979 La-Yaaran 29 (3-4) 43-48.

N xx Identique à Zohar (1976).